



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA**

**REDISEÑO DE ESTRUCTURA PARA EL CAMBIO DE
POSICIÓN DE DECÚBITO SUPINO A DECÚBITO LATERAL
MEDIANTE ACCIONAMIENTO MANUAL PARA LA
PREVENCIÓN DE ÚLCERAS POR PRESIÓN EN PERSONAS
EN ESTADO DE DEPENDENCIA SEVERA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROF. GUÍA: AMBROSIO OLIVOS PÉREZ

ANDRÉS EDUARDO VERDEJO ZÚÑIGA

**CURICÓ - CHILE
2020**

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'. The right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'.

Curicó, 2022

AGRADECIMIENTOS

Por sobre todo agradezco a Dios por la fuerza y refugio que me ha dado en los momentos de triunfo y dificultad, permitiéndome llegar a este hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

De la misma forma agradecer a mi familia, a mis padres y a mi hermano, por su amor y apoyo incondicional, no solo en este proceso sino durante toda mi vida, enseñándome desde su experiencia de vida, además de su constante lucha para que salga adelante en mi formación personal como profesional.

También quiero agradecer al profesor Ambrosio Olivos, por su orientación, apoyo, ideas y conocimientos, que me ha entregado durante gran parte de la carrera y en el desarrollo de la memoria.

Por último, quiero agradecer a mis amigos los cuales de alguna u otra manera han sido participes de mi formación profesional.

Andrés Eduardo Verdejo Zúñiga

Dedicado a mis padres
Julio Verdejo Parra y Margarita Zúñiga Ibáñez
Gran parte de lo que soy se los debo a ustedes

RESUMEN

El enfoque de la presente memoria es el de resolver la necesidad de poder cambiar de posición a las personas en estado de dependencia severa con el propósito de evitar la formación de úlceras por presión, ya que en la mayoría de las ocasiones los cuidadores no son capaces de mover a la persona, por lo que se diseñará una estructura que permita realizar estos cambios posturales de manera sencilla, para poder cumplir con la recomendación del Ministerio de Salud, el cual menciona que se debe de cambiar de posición cada 2 a 3 horas.

Durante el transcurso de este trabajo se observaron varios sistemas y mecanismos que de alguna u otra forma tratan de evitar las úlceras por presión, como lo son los colchones antiescaras, catres clínicos entre otros dispositivos, sin embargo, ninguno de estos suplente la función de cambiar de posición a la persona, mientras que hay otros mecanismos como lo son, la cama de cuidado inteligente y el Turn-Aid los cuales sí permiten el cambio logrando la prevención de escaras, no obstante estos mecanismos son de un alto costo, por este motivo es que se diseñó un mecanismo de simple fabricación y bajo costo el cual cumple con las necesidades de las personas en estado de dependencia severa.

La estructura diseñada cumple con las exigencias estructurales a la cual estará sometida producto de las cargas estáticas, determinando factores de seguridad que permiten un buen funcionamiento de los elementos que componen la estructura, además de proporcionar la seguridad necesaria a la persona que va a utilizar este mecanismo.

Tras el desarrollo de esta memoria se concluye que la estructura diseñada se adapta a los requerimiento y necesidades de las personas en estado de dependencia severa, además de tener un bajo costo de fabricación, ya que solo el costo de los materiales es de 74.000 CLP, permitiendo fabricar esta estructura en un máximo de 4 días, lo cual hace de esta totalmente accesible económicamente.

PALABRAS CLAVES: Estructura, Persona dependiente, Esfuerzo, Costo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. RESULTADOS ESPERADOS	4
1.6. METODOLOGÍA.....	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. DEFINICIÓN DE POSICIÓN ANATÓMICA	7
2.2. DATOS DE DISCAPACIDAD Y DEPENDENCIA SEVERA	7
2.3. ESTADO DEL ARTE	8
2.3.1. U-TURNER.....	8
2.3.2. SÁBANA DE TRANSFERENCIA O REPOSICIONAMINETO ZHEEYI	9
2.3.3. COLCHÓN ANTIESCARAS TUBULAR	9
2.3.4. COLCHÓN ANTIESCARAS DE FLUJO ALTERNANTE.....	10
2.3.5. CATRE CLÍNICO MANUAL DE 2 Y 3 POSICIONES	11
2.3.6. CATRE CLÍNICO ELÉCTRICO DE 3 Y 4 POSICIONES.....	11
2.3.7. CAMA MÉDICA CLINITRON.....	12
2.3.8. INTELLIGENT CARING BED.....	13
2.3.9. TURN-AID.....	13
2.3.10. DISEÑO Y PROTOTIPO REALIZADO ANTERIORMENTE	14
2.4. MECÁNICA DE CUERPOS RÍGIDOS	15

2.4.1.	EQUILIBRIO DE PARTÍCULAS	16
2.4.2.	MOMENTO DE UNA FUERZA.....	16
2.4.3.	ECUACIONES DE EQUILIBRIO PARA MOMENTOS	17
2.4.4.	PRINCIPALES SOPORTES Y SUS REACCIONES	17
2.5.	ARMADURAS SIMPLES	18
2.5.1.	MÉTODOS DE NODOS.....	18
2.5.2.	MÉTODO DE SECCIONES	19
2.6.	FUERZAS ESTRUCTURALES INTERNAS	19
2.6.1.	FUERZA AXIAL	20
2.6.2.	FUERZA DE CORTE	20
2.6.3.	MOMENTO FLEXIONANTE.....	20
2.6.4.	MOMENTO DE TORSIÓN.....	21
2.7.	FRICCIÓN.....	21
2.8.	RESISTENCIA DE MATERIALES	22
2.8.1.	ESFUERZO AXIAL.....	22
2.8.2.	ESFUERZO NORMAL MÁXIMO.....	22
2.8.3.	ESFUERZO CORTANTE.....	23
2.8.4.	ESFUERZO DE CORTE POR TORSIÓN	23
2.8.5.	PANDEO	24
2.8.6.	FACTOR DE SEGURIDAD	24
2.8.7.	ESFUERZO DE CORTE EN SOLDADURA POR FLEXIÓN.....	25
2.9.	TEORÍA DE VON MISES.....	27
2.10.	DISEÑO 3D.....	28
2.11.	SIMULACIÓN COMPUTACIONAL ESTRUCTURAL.....	28
2.12.	MATERIALES DE INGENIERÍA	29

2.12.1.	METALES	29
2.12.2.	POLÍMEROS.....	30
2.12.2.1.	TECHNYL.....	31
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		32
3.1.	REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	33
3.2.	REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN	33
3.3.	DISEÑO 3D DE LA SOLUCIÓN.....	33
3.4.	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	33
3.5.	CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....	34
3.6.	SIMULACIÓN COMPUTACIONAL	34
3.7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
CAPÍTULO 4. DESARROLLO.....		35
4.1.	REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN	36
4.1.1.	CARGA DE DISEÑO	36
4.1.2.	RANGO DE ALCANCE.....	37
4.2.	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	37
4.2.1.	ANTECEDENTES DE DISEÑO	37
4.2.2.	BOCETO PRELIMINAR.....	38
4.2.3.	BOCETO DEFINITIVO.....	39
4.3.	DISEÑO 3D.....	40
4.4.	SELECCIÓN DE COMPONENTES	44
4.5.	CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....	45
4.5.1.	CÁLCULO DE LA TENSIÓN.....	46
4.5.2.	CÁLCULO DE RESISTENCIA EN EL RODILLO.....	48
4.5.3.	CÁLCULO DE ESFUERZO EN LA MANILLA	52

4.5.4.	CÁLCULO DE RESISTENCIA EN SOPORTE DEL RODILLO	55
4.5.5.	ESFUERZO DE CORTE POR FLEXIÓN EN SOLDADURA.....	58
4.5.6.	ESFUERZO EN LA CADENA.....	59
4.6.	SIMULACIÓN COMPUTACIONAL	61
4.6.1.	SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL RODILLO	61
4.6.2.	SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MANILLA	64
4.6.3.	SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL SOPORTE PRINCIPAL	67
4.7.	COSTO DE LA ESTRUCTURA COMPLETA	70
4.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
	CONCLUSIONES.....	73
	REFERENCIAS	74
	ANEXOS	75
	ANEXO 1: CATÁLOGO DE DISEÑO SEGUROS SEAGERS	75
	ANEXO 2: CATÁLOGO PERFIL RECTANGULAR TUBULAR	76
	ANEXO 3: CATÁLOGO CAÑERÍA CON COSTURA ASTM A53	77
	ANEXO 4: PLANOS DE FABRICACIÓN	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Accesorio U-Turner. Fuente: Página de compra oficial U-Turner.	8
Figura 2.2: Accesorio Zheeyi. Fuente: Página de compra oficial Zheeyi.	9
Figura 2.3: Colchón antiescara tipo tubular. Fuente: Página web el enfermo feliz.....	10
Figura 2.4: Colchón antiescara de flujo alternante. Fuente: Página web camillas chile.	10
Figura 2.5: Catre clínico manual. Fuente: Página web camillas chile.....	11
Figura 2.6: Catre clínico eléctrico. Fuente: camillas chile.	12
Figura 2.7: Cama clinitron. Fuente: Página web hill-rom.ca.....	12
Figura 2.8: Cama inteligente. Fuente: Página web smartbed-icb.	13
Figura 2.9: Equipo Turn-Aid. Fuente: Página web turnaid.dk.	14
Figura 2.10: Diseño de estructura versión inicial. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 2.11: Estructura para cambio de posición. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 2.12: Tipos de apoyos y reacciones. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.	17
Figura 2.13: Método de nodos. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.	18
Figura 2.14: Método de secciones. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.	19
Figura 2.15: Componentes de fuerzas internas. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.	20
Figura 4.1: Boceto preliminar a mano alzada. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 4.2: Diseño definitivo. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 4.3: Diseño completo de la estructura. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 4.4: Vista de ensamble rodillo y buje. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 4.5: Componentes de la manilla ensamblado al rodillo. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 4.6: Vista soporte del rodillo. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 4.7: Posiciones del sistema de seguridad. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 4.8: Vista soporte de la base con separador. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 4.9: Representación gráfica de distancias para el cálculo de la tensión. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 4.10: Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 4.11: Situaciones para el cálculo de las reacciones. Fuente: Elaboración propia.	48

Figura 4.12: Diagramas de corte y momento para ambas situaciones. Fuente: Elaboración propia.....	49
Figura 4.13: Diagrama del momento torsor en el rodillo. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 4.14: Boceto y diagrama de cuerpo libre de la manilla. Fuente: Elaboración propia. ...	53
Figura 4.15: Diagrama de corte y de momento de la manilla. Fuente: Elaboración Propia.	54
Figura 4.16: Carga axial en el soporte del rodillo. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 4.17: Boceto y diagrama de cuerpo libre para cálculo del esfuerzo en la cadena. Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 4.18: Reacciones en el rodillo para simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 4.19: Esfuerzo Von Mises mediante simulación computacional en el rodillo. Fuente: Elaboración Propia.	63
Figura 4.20: Factor de seguridad determinado mediante simulación computacional. Fuente: Elaboración Propia.	63
Figura 4.21: Deflexión máxima en el eje Y. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 4.22: Restricciones en el rodillo y fuerzas externas. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 4.23: Esfuerzo Von Mises determinado mediante simulación computacional. Fuente Elaboración propia.....	65
Figura 4.24: Factor de seguridad determinado mediante simulación computacional. Fuente Elaboración propia.....	66
Figura 4.25: Deflexión máxima en la manilla determinado mediante simulación computacional. Fuente Elaboración propia.	66
Figura 4.26: Reacciones y fuerzas externas aplicadas en el soporte. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 4.27: Esfuerzo Von Mises determinado por la simulación computacional. Fuente: Elaboración Propia.	68
Figura 4.28: Factor de seguridad determinado mediante simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.....	69
Figura 4.29: Deflexión máxima del soporte en la parte superior. Fuente: Elaboración propia.	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Relación dependencia y discapacidad para adultos de 18 y más años. Fuente: Servicio Nacional de discapacidad.	7
Gráfico 4.1: Peso de personas encuestadas. Fuente: Municipalidad Curicó.	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Extracto de tabla "Propiedades flexionantes de soldadura". Fuente: Libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.	26
Tabla 2.2: Tabla de esfuerzos permisibles del material de aporte. Fuente: Libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.	27
Tabla 2.3: Tabla de propiedades mecánicas del número de electrodo. Fuente: Libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.	27
Tabla 2.4: Propiedades mecánicas acero SAE 1020. Fuente: Catálogo aceros Otero.	30
Tabla 2.5: Propiedades plásticos de ingeniería. Fuente: Catálogo aceros Otero sección plásticos de ingeniería.	31
Tabla 4.1: Características de camas usadas por las personas. Fuente: Municipalidad Curicó. .	37
Tabla 4.2: Lista de componentes seleccionados. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 4.3: Ángulos para para cálculo de tensión. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 4.4: Magnitud de la tensión en ambas posiciones. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 4.5: Especificaciones dimensionales y geométricas del rodillo. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 4.6: Expresiones matemáticas para el cálculo de reacciones internas de ambas situaciones. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 4.7: Magnitud de fuerzas internas y deflexión máxima. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 4.8: Esfuerzos de corte en el plano x e y. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 4.9: Magnitud del esfuerzo normal máximo. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 4.10: Esfuerzo de corte por momento torsor. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 4.11: Cálculo de teoría de falla y factor de seguridad del rodillo. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 4.12: Cálculo de las reacciones en la manilla. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 4.13: Propiedades geométricas de la manilla y cálculo de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 4.14: Cálculo de esfuerzo de corte por torsión en la manilla. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 4.15: Resultado del Esfuerzo Von Mises y el factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia.	55

Tabla 4.16: Propiedades geométricas y dimensionales del soporte. Fuente: Elaboración propia.	56
Tabla 4.17: Esfuerzo axial de compresión en el soporte. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 4.18: Factores para el cálculo de pandeo y resultado del esfuerzo en ambos ejes. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 4.19: Resultado del esfuerzo de corte en la soldadura. Fuente: Elaboración propia.	58
Tabla 4.20: Esfuerzo Von Mises para soldadura y esfuerzo admisible recomendado. Fuente Elaboración propia.....	59
Tabla 4.21: Resultado de reacciones del diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración porpia.	61
Tabla 4.22: Cálculo de la resistencia estructural en la cadena. Fuente: Elaboración propia.	61
Tabla 4.23: Costo de componentes seleccionados. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 6.1: Especificaciones técnicas de seguros seagers. Fuente: Página web oficial resortes madrigal.....	75
Tabla 6.2: Especificaciones técnicas de perfil rectangular tubular. Fuente: Catálogo Técnico Cintac.....	76
Tabla 6.3: Especificaciones técnicas de cañería con costura ASTM A53. Fuente: Página web oficial Acenor Chile.....	77

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El bienestar y calidad de vida es un tema social que es verdaderamente importante hoy en día y cobra aún más importancia a medida que transcurren los años, es por este motivo que existen organizaciones las cuales van en ayuda de las personas con diversas discapacidades, proporcionando artículos y equipamiento a estas personas para que puedan sobrellevar de mejor manera la situación en la que se encuentran.

La Oficina de Discapacidad perteneciente a la Ilustre Municipalidad de Curicó, quien según los registros que poseen contabilizan alrededor de 400 personas en estado de alta dependencia dentro de la provincia de Curicó, muchos de ellos controlados por los Centros de Salud Familiar (CESFAM), mediante el programa de atención domiciliaria para personas con dependencia severa, los cuales dependiendo de la gravedad de la persona con discapacidad se asignan cuidadores, sin embargo, en muchas ocasiones no existe esta posibilidad, por lo tanto, es algún familiar cercano quien debe cumplir con este rol, quienes en su gran mayoría no cuentan con los conocimientos básicos que se deben de tener para el correcto cuidado de las personas dependientes.

Por lo mencionado anteriormente la Ilustre Municipalidad de Curicó en alianza colaborativa con la Universidad de Talca, se propuso desarrollar un diseño y prototipo, de una ayuda técnica de bajo costo que permita poder mejorar la calidad de vida mediante la prevención de heridas y úlceras por presión de la persona en estado de dependencia, esto si bien se desarrolló, el proyecto no se pudo entregar a la municipalidad debido a la crisis social que ocurrió en Chile a finales del año 2019 y pandemia a principios del presente año, sin embargo, se debe mencionar que se logró fabricar este prototipo el cual cumplió los requisitos planteados. Durante el desarrollo del proyecto se pudo observar varias oportunidades de mejoras, por lo tanto, el desafío actual es el rediseño de esta estructura y documentación, sin afectar su funcionalidad principal y obteniendo un diseño de fabricación sencilla y de bajo costo, cumpliendo con los requerimientos del proyecto.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se conoce que por diversas situaciones en el transcurso de la vida se produce deterioro físico y mental en las personas, esto es a causa de la propia vejez o por algún tipo de enfermedad degenerativa, la cual conlleva a que tales personas tengan problemas asociados a la baja movilidad provocando que no puedan realizar sus actividades básicas diarias de forma autónoma tales como caminar, bañarse, entre muchas otras, conduciendo a que lleven una vida en un solo lugar que es su cama.

El estado de mínima movilidad se puede clasificar según lo mencionado en el documento de la superintendencia de salud[1], en tres categorías la cuales son Leve, Moderada y Severa, para la cual la dependencia leve se define cuando la persona declara que necesita ayuda para realizar ejercicios extenuantes y caminar largas distancias, en el caso de dependencia moderado es cuando la persona requiere de ayuda externa para subir las escaleras además de las ya mencionadas con anterioridad y la dependencia severa es para aquellas personas que declaran necesitar ayuda para bañarse, vestirse, comer y salir de la cama, hasta el punto de no poder moverse autónomamente dentro de la cama.

En esta oportunidad se tratará de ayudar a las personas con dependencia severa, ya que, al no poder salir de la cama necesitan un mayor cuidado y necesariamente deben de cambiar de posición corporal al menos 1 vez cada 2 horas según lo estipulado en el documento del Ministerio de Salud [2] con el fin de evitar lesiones en la piel, no obstante, esta acción se vuelve un completo desafío cuando la persona no puede moverse autónomamente o tiene dificultades físicas, por lo tanto el cuidador es el encargado de efectuar esta ayuda, sin embargo, tratar de mover a una persona posee diversas dificultades tales como, la técnica a utilizar, la seguridad e integridad física de la persona, entre otras, las cuales conllevan a que el cuidador no realice esta acción, ya sea, porque no puede hacerlo o no conoce el método correcto para mover a la persona para no causarle daño.

1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA

Dada la dificultad de cambiar de posición a una persona en estado de dependencia severa, se diseñará una estructura que sea adaptable a las múltiples condiciones en las que viven las personas, además de que sea fácil de usar por el cuidador, procurando que la fabricación sea rápida resultando en una estructura de bajo costo para que sea asequible para las familias o personas que requieran de esta ayuda técnica.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Rediseñar estructura adaptable y de bajo costo que permita el cambio de posición de decúbito supino a decúbito lateral, por medio de un accionamiento manual, mediante un trabajo en conjunto con la oficina de discapacidad de la ilustre municipalidad de Curicó

1.4.2. Objetivos específicos

- Explorar el estado del arte con respecto a los mecanismos implementados en la actualidad que proporcionan solución al problema.
- Identificar parámetros de diseño según datos proporcionados por la oficina de discapacidad.
- Diseñar solución a partir de los requerimientos del diseño, determinados en base a las necesidades de las personas y el diseño anterior.
- Comprobar la resistencia estructural del mecanismo dependiendo de las cargas estáticas y de los materiales a seleccionar.
- Generar planos y documentación técnica para la fabricación del dispositivo.
- Evaluar económicamente el proyecto.

1.5. RESULTADOS ESPERADOS

Tras la realización de este trabajo de memoria se espera tener un diseño estructural con los respectivos planos de fabricación del mecanismo que permitirá el cambio de posición de forma segura y fácil de usar por el cuidador de la persona dependiente.

Capítulo 1. Introducción

Además de asegurar que la fabricación del dispositivo sea de forma sencilla y optimizando los materiales para su confección, con el fin de minimizar los costos para una futura fabricación y precio asequible para las personas y familias que requieran el uso de esta ayuda técnica.

1.6. METODOLOGÍA

El estudio contempla en primera instancia el análisis de los datos otorgados por la oficina de discapacidad, determinando mediante el software Excel de Microsoft Office las necesidades principales de las personas con el fin de conocer las distintas realidades en cuanto a la disponibilidad de espacio, tipos de camas que utilizan las personas además de obtener las estadísticas sobre el peso promedio que debe soportar la estructura, de esta forma comenzar un proceso iterativo en cuanto al diseño de la estructura, para que resista las cargas a la cual estará sometida, permitiendo el cambio de posición de forma segura, este proceso de diseño se hará mediante el software de diseño Inventor.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN DE POSICIÓN ANATÓMICA

Según el manual de anatomía humana escrito por Edwin Saldaña [3], se define técnicamente decúbito supino a la posición corporal cuando el cuerpo se encuentra recostado sobre la espalda y boca arriba, mientras que decúbito lateral es la posición corporal cuando esta recostado sobre alguno de los lados ya sea, izquierdo o derecho, es relevante destacar esta definición, ya que serán los límites de movimiento que se deben de alcanzar al momento de realizar el cambio de posición en la persona dependiente.

2.2. DATOS DE DISCAPACIDAD Y DEPENDENCIA SEVERA

Se conoce que a medida que la población envejece crece a su vez el porcentaje de personas que se encuentran en situación de dependencia en algún grado, tal como se menciona en el informe del Servicio Nacional de Discapacidad [4], donde exponen que un 40% de las Personas en situación de discapacidad se encuentran también en situación de dependencia funcional, lo que representa a 1.052.787 personas en Chile. Esto es, 8% de la población adulta en Chile se encuentra en situación de discapacidad y dependencia, esto se presenta a continuación en el gráfico 2.1.

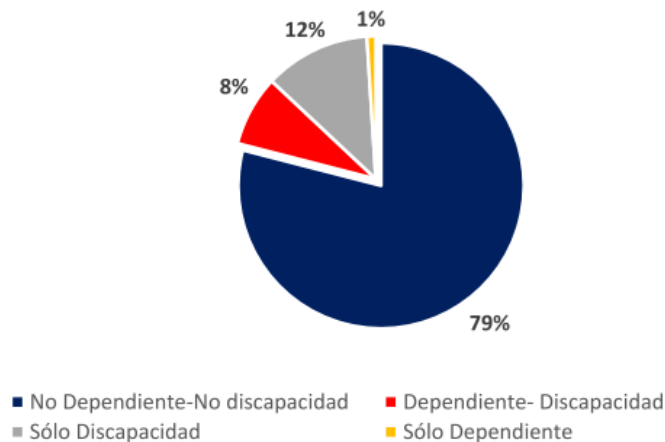


Gráfico 2.1: Relación dependencia y discapacidad para adultos de 18 y más años. Fuente: Servicio Nacional de discapacidad.

2.3. ESTADO DEL ARTE

Con el propósito de conocer las opciones que de una u otra manera faciliten el cambio de posición en las personas, es por esto que se ha realizado una amplia búsqueda de dispositivos y máquinas comerciales que dan respuesta a esta problemática, ya sea que cumplan específicamente la acción de pasar de decúbito supino a decúbito lateral o que permitan contrarrestar los efectos de las úlceras por presión las cuales se manifiestan de manera negativa por el estado de inmovilidad de las personas en estado de dependencia.

2.3.1. U-TURNER

El dispositivo llamado U-Turner se creó con el propósito de poder mover y cambiar de posición a las personas en estado de dependencia severa, este consiste en una eslinga de nylon en forma de U, la cual una vez ubicada en la cama permite envolver a la persona y posicionarla lateralmente sobre su cuerpo, sin embargo este dispositivo presenta complicaciones de la cuales se puede destacar que se acciona por fuerza humana lo que podría afectar de manera indirecta al cuidador de la persona, además de que presenta complicaciones al momento de posicionarlo debajo de la persona, cabe destacar que este producto posee un valor entre \$79.000 y \$95.000 CLP, dependiendo del peso de la persona a movilizar.



Figura 2.1: Accesorio U-Turner. Fuente: Página de compra oficial U-Turner.

2.3.2. SÁBANA DE TRANSFERENCIA O REPOSICIONAMIENTO ZHEEYI

Se trata de un dispositivo idéntico en su funcionamiento que el ya mencionado U-Turner, sin embargo, este producto posee distintos formatos ya que varía en la cantidad de manillas que posee, las dimensiones de este y según el peso de la persona, esta ayuda técnica además de poder reposicionar a la persona otorga la posibilidad de ser levantada y/o transferida a otro lugar, ya sea a una camilla médica u otra cama por medio de la fuerza humana, sin embargo este puede generar problemas indirectos al cuidador de la persona en estado de dependencia al momento de movilizar o trasladar, además de que es sumamente complicado poder posicionar el dispositivo por debajo de la persona, se debe de señalar que el ZHEEYI tiene un valor único de \$47.000 CLP.



Figura 2.2: Accesorio Zheeyi. Fuente: Página de compra oficial Zheeyi.

2.3.3. COLCHÓN ANTIESCARAS TUBULAR

El siguiente accesorio que se presenta es un colchón antiescaras el cual se infla por medio de un compresor de aire, si bien este producto no permite el cambio de posición a la persona, sí logra reducir la presión ejercida por el peso corporal mediante las 22 celdas individuales intercambiables, además se debe de señalar que el accesorio admite un peso máximo 130 kg y posee un valor de 70.000 CLP.



Figura 2.3: Colchón antiescara tipo tubular. Fuente: Página web el enfermo feliz.

2.3.4. COLCHÓN ANTIESCARAS DE FLUJO ALTERNANTE

Este colchón antiescaras posee un diseño y funcionalidad distinto al anterior ya que consta de 130 celdas las cuales están interconectadas entre sí para una mejor distribución del peso corporal, este dispositivo viene con un compresor de aire eléctrico el cual permite un flujo de aire alternante y silencioso el cual además permite regular la presión de aire dentro del colchón para una mejor comodidad de la persona en situación de dependencia, cabe destacar que el colchón soporta hasta 135 kg de peso y posee un valor de 40.000 CLP.



Figura 2.4: Colchón antiescara de flujo alternante. Fuente: Página web camillas chile.

2.3.5. CATRE CLÍNICO MANUAL DE 2 Y 3 POSICIONES

Los catres clínicos manuales no permiten el cambio de posición de decúbito supino a decúbito lateral no obstante se pueden tener diferentes inclinaciones corporales permitiendo la modificación postural del respaldo y las piernas mediante 3 manivelas las cuales regulan estas posiciones con el fin de liberar la presión ejercida por el peso en estas zonas, además el catre tiene la opción de poder modificar la altura para una mejor asistencia de la persona, cabe señalar que el precio de este equipo es de alrededor de \$600.000 CLP.



Figura 2.5: Catre clínico manual. Fuente: Página web camillas chile.

2.3.6. CATRE CLÍNICO ELÉCTRICO DE 3 Y 4 POSICIONES

Este equipo al igual que el anterior no permite el cambio de posición requerido, sin embargo, este presenta leves pero importantes modificaciones, ya que se logra cambiar la inclinación del respaldo y las piernas, añadiendo una sección para el soporte de la cadera, estas posiciones se logran mediante el accionamiento de los motores eléctricos a través de un control remoto, además se debe de señalar que al igual que en el catre clínico manual se posee la opción de modificar la altura y soporta un peso de 280 kg, este mecanismo tiene un precio aproximado de \$800.000 CLP.



Figura 2.6: Catre clínico eléctrico. Fuente: camillas chile.

2.3.7. CAMA MÉDICA CLINITRON

La cama médica clinitron es un equipo de alta gama en lo que se refiere a cuidados de salud, ya que es una de los pocos equipos que existen y que utilizan aire fluidizado para el cuidado y terapia de personas en estado de severa dependencia con heridas complejas y avanzadas que son difíciles de curar, esta cama permite un flujo alternante de aire que reduce al mínimo la presión que se produce entre el cuerpo y el soporte de este, por su alta exclusividad se desconoce el precio de esta equipo.



Figura 2.7: Cama clinitron. Fuente: Página web hill-rom.ca.

2.3.8. INTELLIGENT CARING BED

La cama de cuidado inteligente permite movimientos laterales automatizados logrando mínimamente el cambio postural de decúbito supino a decúbito lateral, cabe señalar el equipo se puede programar para que se balancee durante el día como en la noche logrando prevenir las úlceras por presión además de facilitar el descanso de la persona dependiente, el equipo posee una consola de programación con la cual es posible ajustar los parámetros de funcionamiento ya sea la inclinación, tiempos de uso entre otros aspectos según lo requiera cada persona en específico, se debe mencionar que se desconoce el precio de la cama de cuidados inteligente.



Figura 2.8: Cama inteligente. Fuente: Página web smartbed-icb.

2.3.9. TURN-AID

Este equipo motorizado permite completamente el cambio de posición postural de las personas en estado de dependencia severa desde decúbito supino a decúbito lateral, mediante el accionamiento de rodillos eléctricos los cuales se encuentra en ambos lados de la estructura y por sobre el nivel de altura que el colchón, a su vez estos se unen mediante una tela que se encuentra por debajo de la persona, en el momento en que alguno de los rodillos se acciona la sábana se envuelve en este permitiendo el cambio de posición a decúbito lateral a medida que la persona se acerca al rodillo, cabe destacar que el equipo soporta hasta un peso de 350 kg y se desconoce el precio.



Figura 2.9: Equipo Turn-Aid. Fuente: Página web turnaid.dk.

2.3.10. DISEÑO Y PROTOTIPO REALIZADO ANTERIORMENTE

Como se mencionó anteriormente se pudo diseñar y fabricar un mecanismo a modo de prototipo, al cual se le desarrollaron pruebas de funcionalidad con el fin de apreciar el cumplimiento de los requerimientos y posibles falencias que pueda tener, con estas pruebas en terreno se pudo observar que la estructura permite el cambio de posición requerido, además de poder soportar un peso de 120 kg y ser apta para el uso de las distintos tipos de camas, ya que esta permite cubrir el ancho de una cama americana y una altura igual y superior al de los catres clínicos, sin embargo se observaron falencias en cuanto a la seguridad, el diseño, el tiempo de fabricación de una sola estructura, entre otros factores con los cuales se planteó la posibilidad del rediseño de esta estructura la cual se presenta a continuación en la figura 2.10.

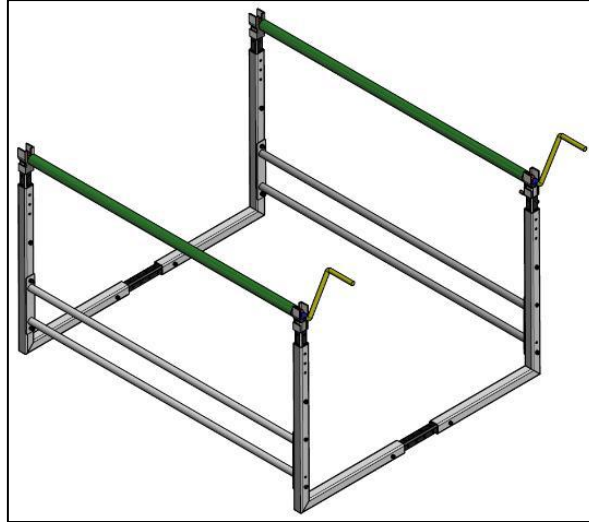


Figura 2.10: Diseño de estructura versión inicial. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.11: Estructura para cambio de posición. Fuente: Elaboración propia.

2.4. MECÁNICA DE CUERPOS RÍGIDOS

La mecánica de cuerpos rígidos proporciona los fundamentos básicos con los cuales se desarrolla cualquier análisis avanzado de componentes mecánicos o elementos estructurales como se menciona en [5], además se debe destacar que esta materia se compone de dos áreas las cuales son la dinámica y la estática, sin embargo, este estudio se centrará en esta última la cual estudia el equilibrio de los cuerpos ya sea en reposo o con velocidad constante.

2.4.1. EQUILIBRIO DE PARTÍCULAS

El equilibrio de partículas se fundamenta en la primera ley de Newton, la cual hace mención de que un cuerpo se mantiene en un determinado estado inicial a menos que intervengan fuerzas externas las cuales cambian el estado en el que se encontraba el cuerpo, este equilibrio permite la realización de sistemas de fuerzas y las posteriores ecuaciones de equilibrio, con las cuales se logran separar las fuerzas que interactúan en el análisis en sus respectivas componentes i, j, k, estos conceptos se desarrollan a continuación.

$$\sum F = \sum F_x i + \sum F_y j + \sum F_z k = 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

La ecuación anterior se verifica cuando se cumple la condición para el equilibrio de una partícula para cada una de las componentes involucradas:

$$\sum F = 0 \quad (\text{Ec. 2})$$

2.4.2. MOMENTO DE UNA FUERZA

El momento se produce cuando una fuerza se aplica sobre un punto del cuerpo y este tiende a girar alrededor de un eje que no está en la línea de acción de esa fuerza, esto quiere decir que la fuerza producirá un momento cuando esta se ejerza a una distancia perpendicular al punto de referencia, cabe destacar que la magnitud del momento es directamente proporcional a la fuerza aplicada y a la distancia perpendicular, como se presenta a continuación.

$$M = F * d \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

M = Momento de una fuerza

F = Fuerza ejercida

d = Distancia perpendicular al punto de aplicación

2.4.3. ECUACIONES DE EQUILIBRIO PARA MOMENTOS

Al igual que para el caso anterior se pueden determinar las ecuaciones para el equilibrio de momentos que actúan sobre una partícula o un cuerpo con respecto a un determinado punto, estas ecuaciones se presentan a continuación.

$$\sum M = \sum M_x i + \sum M_y j + \sum M_z k = 0 \quad (\text{Ec. 4})$$

Sin embargo, la ecuación anterior, se satisface únicamente cuando los momentos involucrados estas en equilibrio en sus respectivas componentes:

$$\sum M = 0 \quad (\text{Ec. 5})$$

2.4.4. PRINCIPALES SOPORTES Y SUS REACCIONES

Existen diversos tipos de soportes que se utilizan en el área de ingeniería como de la construcción, todos y cada uno de ellos cumplen la misma la función que es la de dar soporte estructural en las bases de cada estructura de distintas maneras, las cuales se pueden identificar mediante la cantidad de reacciones que se producen desde una reacción simple hasta momentos de una fuerza en todos sus ejes, es por esto que los soportes más comunes se presentan en la siguiente figura 2.12.

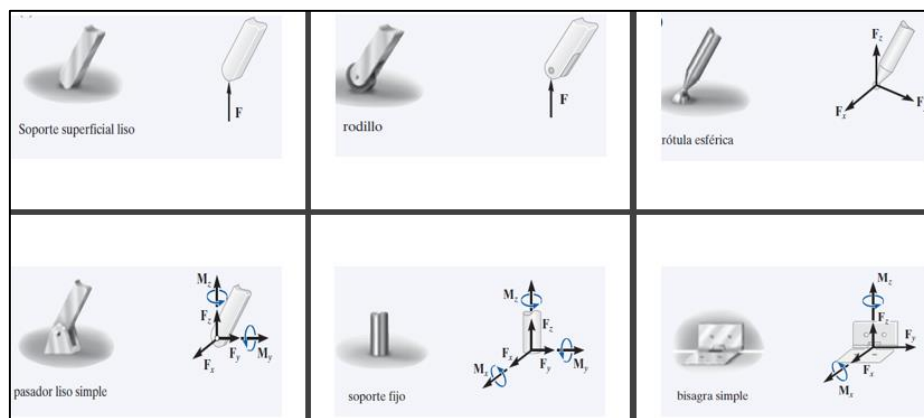


Figura 2.12: Tipos de apoyos y reacciones. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.

2.5. ARMADURAS SIMPLES

Los análisis estructurales en primera instancia se trabajan desde la simplificación de componentes, esto se hace ya que primero se deben de conocer las fuerzas que interactúan en estos para luego desarrollar el estudio de resistencia de materiales, es por esto que la materia de armaduras simples permite encontrar dichas reacciones, estas armaduras consisten en elementos unidos en sus extremos con diversas configuraciones según la necesidad, las cuales se pueden calcular mediante los dos métodos que se presentan a continuación.

2.5.1. MÉTODOS DE NODOS

El método se desarrolla bajo el concepto de que las armaduras están en equilibrio, es por esto, que al momento de realizar el diagrama de cuerpo libre se realiza en torno a la unión de dos o más elementos involucrados, a su vez este diagrama permitirá obtener las ecuaciones de equilibrio respectivas de cada componente, cabe destacar que en algunas ocasiones no se sabe el sentido de la fuerza que está actuando sobre el nodo, sin embargo, se opta por suponer que esa fuerza está en tensión, por lo tanto si el resultado es positivo esta suposición será correcta, por el contrario, sin embargo si la magnitud es negativa quiere decir que está en compresión, este método se puede ver en la siguiente figura 2.13.

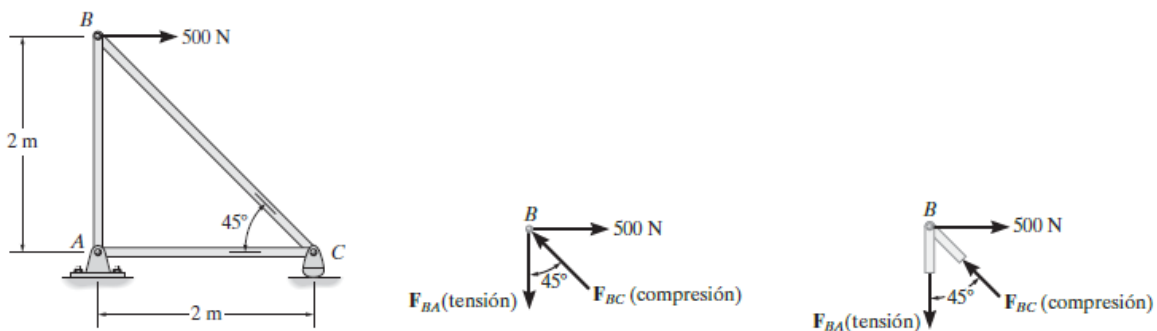


Figura 2.13: Método de nodos. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.

2.5.2. MÉTODO DE SECCIONES

El uso de este método es principalmente para encontrar las fuerzas en algunos elementos de la estructura o armadura de estudio, sobre todo en aquellos elementos más solicitados de la estructura, al igual que el método anterior está basado en el concepto de que esa sección está en equilibrio, además se debe de destacar que al seccionar el elemento de la estructura de análisis las fuerzas que se presentan deben de ser igual magnitud, pero de sentidos opuestos, ya sea para el caso de tracción y compresión satisfaciendo a la tercera ley de Newton, este método se presenta en la siguiente figura 2.14.

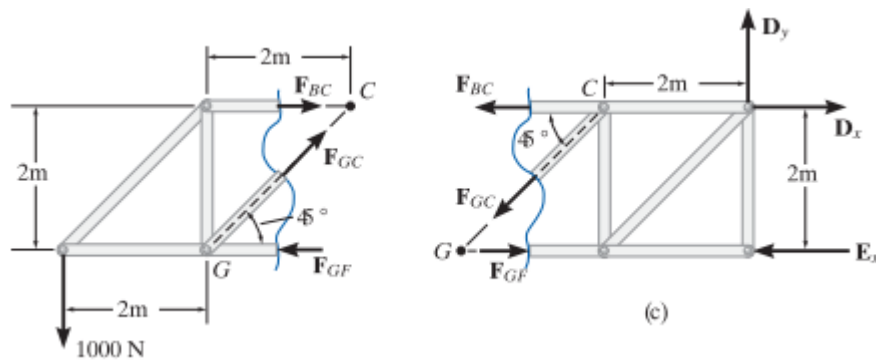


Figura 2.14: Método de secciones. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.

2.6. FUERZAS ESTRUCTURALES INTERNAS

Al analizar algún elemento mecánico o estructural se debe de tener presente que existen fuerzas internas como se presentó anteriormente en el método de secciones, ya que al separar un elemento las cargas internas que actúan en ese punto pasarán a ser externas respetando el principio de acción y reacción, produciéndose 4 fuerzas internas cuando se analiza en las 3 dimensiones, las cuales se visualizan a continuación en la figura 2.15.

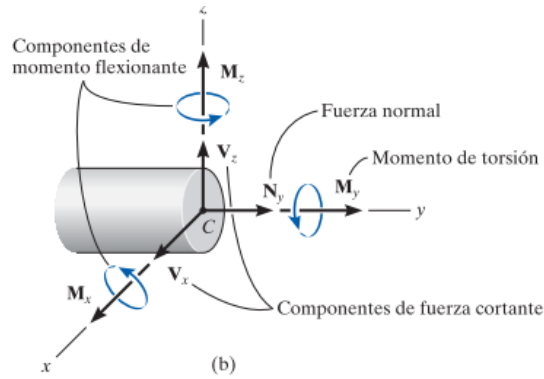


Figura 2.15: Componentes de fuerzas internas. Fuente: Libro Ingeniería Mecánica Estática - Hibbeler 12ed.

2.6.1. FUERZA AXIAL

Esta fuerza representada anteriormente y denominada como N_Y actúa de manera axial a la sección B del elemento dividido, esta carga se utilizará posteriormente para encontrar el esfuerzo axial de una estructura.

2.6.2. FUERZA DE CORTE

Las fuerzas de corte designadas como V_Z y V_X es tangente a la sección transversal del elemento presentado en la imagen anterior, además esta carga permitirá obtener el esfuerzo de corte que posee un determinado elemento.

2.6.3. MOMENTO FLEXIONANTE

Los momentos flectores que se representan por las variables M_X y M_Z , que se induce al momento de dividir una sección, en la realidad están influenciados por todas las cargas externas que influyen en la estructura de estudio, además de la fuerza de corte producto del seccionamiento del elemento.

2.6.4. MOMENTO DE TORSIÓN

El momento de torsión se genera producto las cargas externas sobre los elementos, el cual se ve representado por la variable M_Y , la cual genera un giro en el elemento en el eje de la sección transversal en el punto donde se llevó a cabo el método de secciones.

2.7. FRICCIÓN

La fuerza de fricción se genera por la resistencia al movimiento entre dos superficies con movimiento relativo, esta produce una fuerza tangencial a la superficie en el punto donde se produce el contacto entre los cuerpos, se debe de mencionar que esta reacción se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$F_S = \mu_S * N \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

F_S = fuerza de fricción

μ_S = Coeficiente de fricción estática

N = Fuerza normal

De la ecuación anterior se debe de destacar que según [5] se pueden encontrar 2 coeficientes de fricción, el mencionado coeficiente de fricción estática y el coeficiente cinético el cual es alrededor del 25% más bajo que el estático, ya que según los experimentos realizados en base a este tema, se pudo observar que para que se produzca el movimiento del cuerpo se debe de superar el coeficiente de fricción estático, ya que una vez en movimiento la magnitud de este coeficiente disminuye, por lo tanto para los cálculos de esta investigación se utilizará el coeficiente de fricción estático.

2.8. RESISTENCIA DE MATERIALES

El objetivo del estudio basado en la resistencia de los materiales es el de proporcionar los medios para analizar y diseñar estructuras o componentes capaces de soportar las cargas y acciones a las que estos están o pueden estar sometidos durante su vida útil, tal como lo mencionan en [6], el estudio de esta materia se realiza dentro de la zona elástica de los materiales, además mediante este análisis se llevará a cabo el desarrollo del modelo matemático el que se utilizará posteriormente para el desarrollo de esta investigación.

2.8.1. ESFUERZO AXIAL

Se define esfuerzo axial como la intensidad de la fuerza que actúa en dirección normal a la sección donde se ejerce tal fuerza, esta se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_{axial} = \frac{P}{A} \quad (Ec. 7)$$

σ_{axial} = Esfuerzo axial

P = Carga axial al área de la sección

Á = Área de la sección transversal

2.8.2. ESFUERZO NORMAL MÁXIMO

El esfuerzo normal máximo se produce en el punto más alejado del eje neutro que esta sobre el área de la sección transversal.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M * c}{I} \quad (Ec. 8)$$

Capítulo 2. Marco teórico

$\sigma_{\text{máx}}$ = Esfuerzo normal máximo

M = Momento interno máximo de la sección

c = Distancia máxima desde el eje neutro al punto más alejado de este

I = Momento de inercia de toda la sección transversal respecto del eje neutro

2.8.3. ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo cortante es la intensidad de la fuerza que se ejerce de forma tangencial al área donde se realiza la división del elemento a estudiar, este esfuerzo se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{V}{\bar{A}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante transversal

V = Fuerza ejercida tangencial a la sección

\bar{A} = Área de la sección transversal donde se ejerce la fuerza tangencial

2.8.4. ESFUERZO DE CORTE POR TORSIÓN

El par de torsión es un momento que tiende a torcer el elemento con respecto a su eje axial, este momento torsor genera esfuerzos de cortes máximos en superficie externa del eje, este esfuerzo se puede calcular a partir de la siguiente ecuación.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T * c}{J} \quad (\text{Ec. 10})$$

Capítulo 2. Marco teórico

Donde:

$\tau_{\text{máx}}$ = Esfuerzo cortante máximo del eje

T = Momento de torsión máximo en el eje

C = Radio exterior del eje o distancia máxima desde el centro del eje a la superficie de este

J = Momento polar de inercia del área de la sección transversal

2.8.5. PANDEO

Con la finalidad de determinar la estabilidad de una columna se define el pandeo como una deflexión lateral de esta cuando está sometida a una carga de compresión, este tipo de falla ocurre repentinamente sobre el mecanismo y no hay forma de volver revertirlo ya que el material pasa a la zona plástica, es por esto que al diseñar columnas se debe de tener presente el esfuerzo crítico que puede ser soportado con seguridad por esta columna, este esfuerzo se calcula de la siguiente manera.

$$\sigma_{\text{crítico}} = \frac{\pi^2 * E}{(Le/r)^2} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

$\sigma_{\text{crítico}}$ = Esfuerzo crítico

E = Módulo de elasticidad del material

Le = Longitud equivalente de la columna según las condiciones

r = Radio de giro más pequeño de la columna

2.8.6. FACTOR DE SEGURIDAD

Con el propósito de diseñar correctamente un elemento estructural se debe tener presente el límite del esfuerzo del material, por lo que el factor de seguridad permite encontrar un valor de

Capítulo 2. Marco teórico

esfuerzo permisible con el cual se asegura que el elemento no falle, se debe señalar que este factor debe de ser mayor a 1, este se presenta a continuación.

$$F.S. = \frac{\sigma_{falla}}{\sigma_{perm}} \quad (Ec. 12)$$

Donde:

F.S. = Factor de seguridad

σ_{falla} = Esfuerzo de falla del material

σ_{perm} = Esfuerzo permisible

2.8.7. ESFUERZO DE CORTE EN SOLDADURA POR FLEXIÓN

Las uniones de elementos realizadas mediante soldadura también están afectas a esfuerzos provocados por la acción de fuerzas externas sobre la estructura a diseñar, este esfuerzo de corte en la soldadura se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$\tau_{soldadura} = \frac{M * c}{I} \quad (Ec. 13)$$

Donde:

$\tau_{soldadura}$ = Esfuerzo cortante máximo del eje

M = Momento flector máximo interno de la estructura

c = Distancia máxima desde el centro del cordón de soldadura hasta el extremo

I = Segundo momento unitario en base al área de la garganta de soldadura

Capítulo 2. Marco teórico

El cálculo del segundo momento unitario del área de la garganta de soldadura se determinará mediante la siguiente ecuación, la cual determina a partir del esfuerzo de corte que es generado por momento flector que actúa sobre la soldadura.

$$I = 0,707 * h * I_u \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

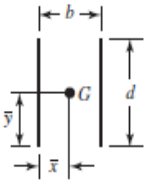
I = Segundo momento unitario en base al área de la garganta de soldadura

h = Garganta de soldadura

I_u = Segundo momento unitario del área

Se debe mencionar que las expresiones de c e I_u , se extrajeron de la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Extracto de tabla "Propiedades flexionantes de soldadura". Fuente: Libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$

Sin embargo, este esfuerzo se debe de comparar con el esfuerzo permisible del tipo de carga a la cual está sometida la soldadura, este esfuerzo se determinará mediante la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Tabla de esfuerzos permisibles del material de aporte. Fuente: Libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n^*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_u$	

De esta misma forma se puede obtener el valor de la resistencia a fluencia de la soldadura, la cual difiere de la resistencia a la fluencia del acero que se utilice, este esfuerzo se encuentra tabulado en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Tabla de propiedades mecánicas del número de electrodo. Fuente: Libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

2.9. TEORÍA DE VON MISES

Las teorías de fallas o criterios de falla se utilizan principalmente para determinar los esfuerzos estáticos permisibles en elementos mecánicos y luego compararlos con el esfuerzo de fluencia del material con el propósito de saber si la estructura o elemento resistirá las cargas que se

apliquen, una de las teorías más precisas es la de Von Mises o de energía de deformación, la cual se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x * \sigma_y) + 3(\tau_{xy})^2} \quad (Ec. 15)$$

Donde:

σ_{vm} = Esfuerzo de Von Mises

σ_x = Esfuerzo normal en el eje X

σ_y = Esfuerzo normal en el eje Y

τ_{xy} = Esfuerzos de corte en el plano

2.10. DISEÑO 3D

El diseño de los componentes de la estructura se realizará mediante el software CAD de modelado paramétrico de sólidos 3D llamado Autodesk Inventor, con licencia para estudiantes, con este programa se pueden realizar las piezas individuales para después ensamblar cada una de ellas las cuales conformarán la estructura final, el software de diseño permite la realización de planos de cada una de piezas como del conjunto, otro beneficio que posee inventor es que cuenta con paquetes de componentes estandarizados según las distintas normas, ya sea para elementos de unión, rodamientos, perfiles estructurales, entre otros, lo que permite visualizar de mejor manera el acabado final del producto.

2.11. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL ESTRUCTURAL

Las simulaciones computacionales basadas en elementos finitos permiten conocer el comportamiento de un objeto o un fluido bajo ciertas condiciones de funcionamiento y de borde, discretizando las secciones donde se requiere un análisis más exhaustivo, la simulación estructural permite encontrar los puntos críticos de una estructura permitiendo modificar estas según sea necesario.

ANSYS es uno de los software de simulación más avanzado en la actualidad con la posibilidad de realizar análisis de distintas áreas de ingeniería, desde la base que es el diseño hasta la obtención de los resultados de las simulación, en este estudio se considerará el uso del análisis estructural que posee este software, además se debe destacar que Inventor también posee un sistema de análisis estructural si bien no es tan preciso como la simulación estructural de ANSYS si se pueden obtener resultados óptimos para un análisis posterior.

2.12. MATERIALES DE INGENIERÍA

Los avances tecnológicos en la actualidad han sido posible gracias al estudio y desarrollo de los materiales, esto ha permitido que exista una gran cantidad de materiales que son usados en el área de la ingeniería, muchas veces diferenciados desde el inicio por las materias primas involucradas en el proceso de confección, confiriendo distintas propiedades mecánicas permitiendo tener una mayor disponibilidad de materiales según sea la finalidad de uso.

A grandes rasgos los materiales se pueden clasificar en 4 grupos, estos son los metales, cerámicos, polímeros y materiales compuestos, de los cuales se describirán los aceros y polímeros, ya que serán los que se utilizarán en el desarrollo de la memoria.

2.12.1. METALES

Los metales y aleaciones poseen enlaces metálicos lo que permite que tengan buena conductividad térmica y eléctrica se pueden clasificar según si son metales puros como el hierro, níquel, cobre, entre otros o aleaciones, dentro de las aleaciones se pueden encontrar las ferrosas y no ferrosas, la diferencia principal entre estas categorías es que en la aleación ferrosa contiene altas cantidades de hierro en su composición, mientras que la otra no contiene hierro tales como el aluminio, cobre, magnesio, por la parte de las aleaciones ferrosas se pueden encontrar 2 subdivisiones dependiendo de la cantidad del porcentaje en peso de carbono que se añade al hierro, ya que si la composición contiene más del 2% de carbono se dice que es fundición, sin embargo, si posee menos del 1,6% de carbono se llaman aceros, se debe de señalar que entre

Capítulo 2. Marco teórico

mayor sea el porcentaje de carbono la resistencia a la tracción del acero aumenta y al mismo tiempo baja su ductilidad, por el contrario mientras más bajo sea el porcentaje de carbono la resistencia a la tracción es menor y la ductilidad es mayor, uno de los aceros más usados es el SAE 1020, esta es un acero bajo al carbono ya posee alrededor de 0,2% de carbono en su composición, además posee una alta soldabilidad, al igual que buena ductilidad y fácil de mecanizar, estos datos se ven reflejados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Propiedades mecánicas acero SAE 1020. Fuente: Catálogo aceros Otero.

Composición Química				
% C	% Mn	% Si	% P	% S
0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,15 - 0,35	≤ 0,04	≤ 0,05
Propiedades Mecánicas Acero Laminado (Valores típicos)				
Dureza (HB)	Esfuerzo Fluencia (min.) (Kg / mm ²)	Esfuerzo Tracción (min.) (Kg / mm ²)	Elongación (min.)%	
110 - 130	27	40 - 45	20	

2.12.2. POLÍMEROS

Los polímeros en general presentan una estructura unida por enlaces covalentes, si bien en la actualidad se pueden encontrar polímeros con diversas ramificaciones en sus estructuras producto al proceso de fabricación que es la polimerización, con la cual permite obtener diversas propiedades mecánicas según sea la necesidad del uso, sin embargo a grandes rasgos estos materiales poseen buena resistencia a la corrosión, una buena relación entre resistencia y peso además de tener buena ductilidad, sin embargo no son adecuados para el uso de altas temperaturas como se menciona en [7], además se debe de destacar que los polímeros se pueden categorizar en 3 grandes grupos, los elastómeros, los termoplásticos y los termoestables, de estos se pueden obtener una amplia gama de polímeros con aplicaciones en diversas área del conocimiento como lo es la ingeniería, medicina, agricultura, alimenticia, entre muchas otras.

2.12.2.1. TECHNYL

El polímero llamado technyl es un termoplástico usado ampliamente en los sectores industriales por las excelentes propiedades mecánicas como dieléctricas, técnicas y químicas, además que se puede mecanizar con facilidad y ser usado como engranes, bujes, cojinetes, rodillos ente otras aplicaciones, esto producto a la buena resistencia a la fatiga, al desgaste y buena resistencia al impacto, las propiedades de este polímero se presentan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Propiedades plásticos de ingeniería. Fuente: Catálogo aceros Otero sección plásticos de ingeniería.

Propiedades Plásticos de Ingeniería		
		PA6
Generales	Unidad	
Peso específico	gr/cm ³	1.13
En forma continua sin carga	°C	80 a 100
Absorción de agua (23°C hasta saturación)	%	6
Mecánicas	Unidad	
Resistencia a la tracción	kg/cm ²	540
Resistencia a la tracción	kg/cm ²	700
Alargamiento a la rotura	%	100 - 300
Resistencia a la flexión	kg/cm ²	450
Resistencia a la flexión	kg/cm ²	650
Resistencia a la compresión	kg/cm ²	650
Coefficiente de deslizamiento	-	0.35 - 0.43
Resistencia a la abrasión	%	0.15

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

La búsqueda por conocer los productos que existen en la actualidad y que ayudan a resolver este problema proponen las bases de lo que será el desarrollo del diseño en esta memoria, así mismo permite tener una visión más amplia, la cual permite ver la solución del problema desde distintas perspectivas, ya sea desde un simple dispositivo a un equipo.

3.2. REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN

El desarrollo de un producto se basa principalmente en los requerimientos de este, por lo tanto, estos proporcionan las condiciones de funcionamiento, al igual que los aspectos de diseño que se deben de considerar, como lo es, el peso del producto, las dimensiones, entre factores que en esta memoria se basaran según los datos otorgados por la oficina de discapacidad que se realizó a las personas de la provincia de Curicó quienes están catalogadas como personas en estado de dependencia.

3.3. DISEÑO 3D DE LA SOLUCIÓN

El diseño de la solución se basará mediante iteración de los bocetos preliminares los cuales darán respuesta al problema descrito, además el diseño contempla el cumplimiento de los parámetros de seguridad, funcionalidad y requerimientos que se obtengan de la información proporcionada por la oficina de discapacidad, se debe de señalar que el diseño se realizará mediante el software de dibujo asistido por computadora Inventor.

3.4. SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección de materiales se realizará en función de la finalidad que se le va a dar a cada uno de los componentes que forman parte de la solución, con estos materiales seleccionados se podrá obtener las magnitudes de las propiedades mecánicas relevantes al momento de realizar los

cálculos estructurales del equipo, además se tendrá presente la optimización de los materiales y los procesos de fabricación involucrados en una futura fabricación de la solución.

3.5. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Los cálculos estructurales se desarrollarán una vez se determine la forma geométrica de la estructura, para la realización de los cálculos se tomará como base la fundamentación matemática presentada en el marco teórico, con estos cálculos se busca garantizar que los elementos y sus uniones poseen la rigidez y estabilidad suficiente para soportar las cargas externas a las que estará sometida la estructura, estos cálculos se llevarán a cabo mediante hojas de cálculos de Excel.

3.6. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

La simulación computacional permite realizar un análisis exhaustivo de aquellas zonas donde se puede ver comprometida la resistencia estructural de la solución propuesta, además de poder observar el comportamiento de la estructura producto de las cargas involucradas y tener respaldo de los cálculos matemáticos que se realizarán.

3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis se realizará con respecto a los cálculos realizados y a las simulaciones, los cuales deberán de ser consistentes entre sí, con el propósito de determinar si el diseño de la solución es acorde con la resistencia que proporcionan los materiales, al igual que la seguridad de esta estructura verificando que no se produzcan fallas estructurales.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO

4.1. REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN

Los requerimientos de la solución en cuanto al diseño se determinarán mediante los datos proporcionados por la oficina de discapacidad producto de la encuesta realizada a 50 personas las cuales pertenecen a distintitos sectores de la provincia de Curicó, con el fin de conocer las distintas realidades en que viven las personas en dependencia.

4.1.1. CARGA DE DISEÑO

Este corresponde al peso máximo con el cual se dimensionará y diseñará el dispositivo que permita realizar el cambio de posicionamiento corporal de la persona en estado de dependencia severa, se puede ver que en el rango más elevado de peso posee solo 6 personas, de las cuales el dato de mayor peso registrado corresponde a 86 [kg], sin embargo el peso que se utilizará para el desarrollo matemático será de 120 [kg] con el propósito de tener un rango de seguridad, ya que se desconoce si alguna persona que no se encuesta supera el peso máximo registrado, se debe mencionar que no se pudo identificar el peso de 9 personas, por lo tanto para este grafico solo se tomaron los pesos de las 41 personas restantes como se aprecia a continuación en el gráfico 4.1.

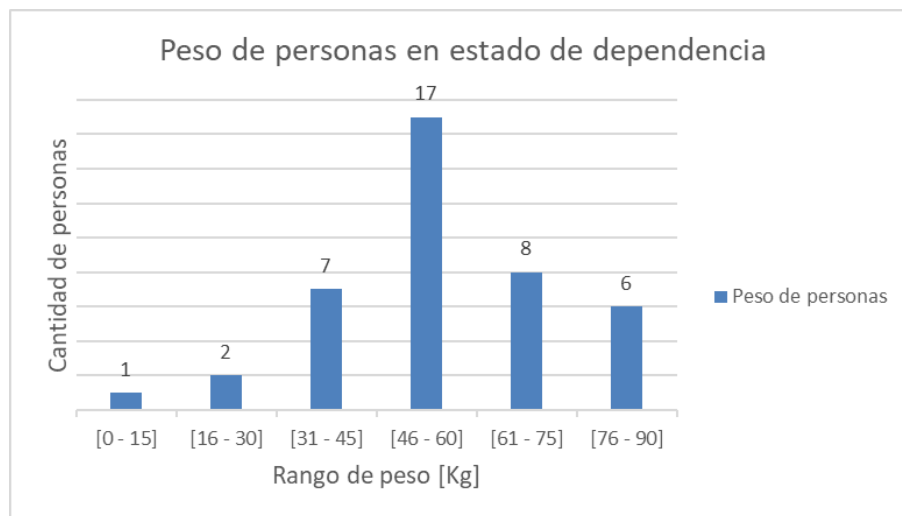


Gráfico 4.1: Peso de personas encuestadas. Fuente: Municipalidad Curicó.

4.1.2. RANGO DE ALCANCE

El rango que debe de cubrir el mecanismo está determinado por las dimensiones del tipo de cama que las personas encuestadas usan, estas se presentan en la tabla 4.1, en la cual se puede apreciar la cantidad de personas que ocupan un determinado tipo de cama con sus respectivas dimensiones estandarizadas.

Tabla 4.1: Características de camas usadas por las personas. Fuente: Municipalidad Curicó.

Tipo de cama	Dimensiones (ancho x Largo x altura)	N° de personas
Catre clínico	0,9 x 2 x 0,8 [m]	24
Americana	1,5 x 1,9 x 0,4 [m]	14
Madera	1,05 x 1,9 x 0,4 [m]	12

Esta comparativa permite conocer las dimensiones que debe de cubrir el mecanismo a diseñar para que funcione correctamente, tal como se puede apreciar en la tabla alrededor del 50% de las personas poseen un catre clínico, sin embargo, el mecanismo debe de ser capaz de poder adaptarse a todos los tipos de cama, esto quiere decir que la altura mínima sin considerar el colchón es de 0,4 [m] y la máxima de 0,8 [m] para que pueda ser usada tanto en la cama de madera como en el catre clínico, en cuanto al ancho máximo que se debe de cubrir es 1,5 [m] que corresponden a la cama americana la cual es la más amplia de todas, no obstante, el largo que debe de ser cubierto es el correspondiente a la distancia que hay entre la nuca de la persona hasta 0,3 [m] debajo de la cadera, esto corresponde a un largo estimado de 1,3 [m].

4.2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.2.1. ANTECEDENTES DE DISEÑO

El diseño inicial con el cual se trabajó para la fabricación de la estructura presentada con anterioridad comprende una barra redonda lisa que cruza internamente a lo largo del rodillo, esta barra cumple la función de eje el cual en el extremo presenta una espiga cuadrada confeccionada mediante el fresado de sus caras, los perfiles que se utilizaron para dar el soporte de la estructura son cuadrados tubulares, los cuales se conectaban entre si mediante un sistema

de separación hecho con 2 tramos de pletina y soldados a 2 perfiles redondos tubulares, la conexión por debajo de la cama se realizó mediante un perfil cuadrado perforado cada 5 [cm] con el propósito de obtener los distintos anchos de las camas, tal como se presentó en la figura 2.10.

4.2.2. BOCETO PRELIMINAR

El boceto que se presenta a continuación es una modificación del diseño ya fabricado, en este se presentan simplificaciones de conexiones entre el eje y la manilla, además de la optimización de material en cuanto al eje, se optó por eliminar el perfil de la base que conecta ambos soportes de la estructura por debajo de la cama y se modificó el mecanismo de separación entre soportes del mismo lado de la estructura como se muestra en la figura 4.1.

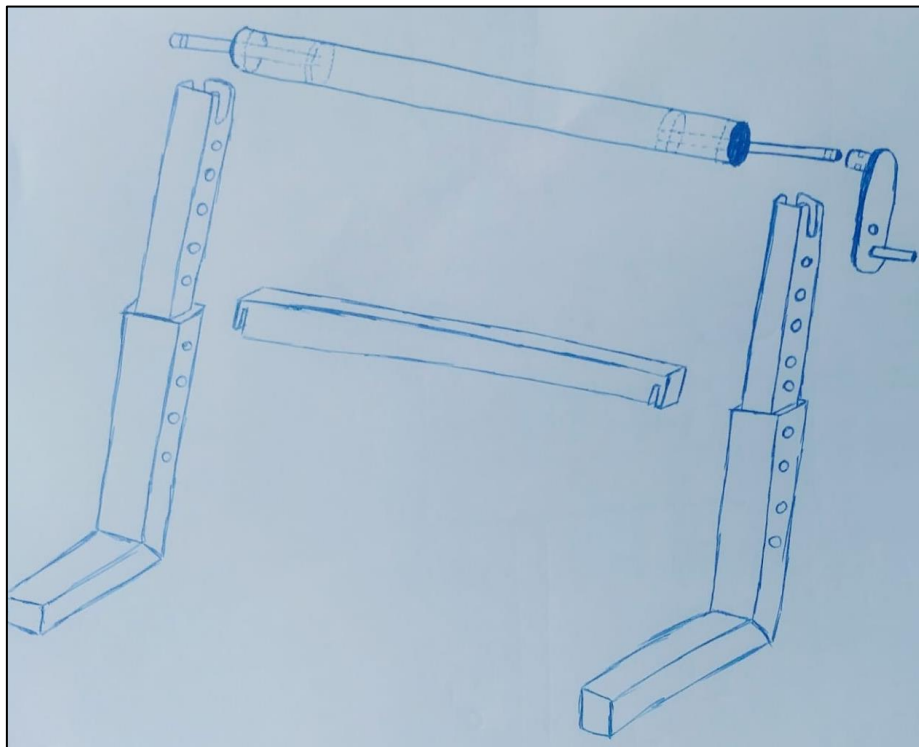


Figura 4.1: Boceto preliminar a mano alzada. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. BOCETO DEFINITIVO

El siguiente diseño se desarrolló bajo el objetivo de obtener un diseño de bajo costo y de simple fabricación, lo que permitió eliminar el trabajo de fresado y minimizar el tiempo de torneado, los cambios más significativos son el cambio del tipo de conexión por debajo de la cama pasando de un perfil tubular cuadrado a una cadena con sujeción rápida, además de dos tramos de perfiles en ángulo para la separación de los soportes en la parte superior como inferior, por último se rediseñó la forma de conexión entre la manilla y el eje, permitiendo el cambio y reposicionamiento rápido de la manilla en cualquiera de los dos ejes, se debe de mencionar que en la figura 4.2 se presenta la estructura que se posicionará por el costado derecho de la cama, viendo esta desde los pies hacia la cabecera, sin embargo la estructura completa contempla cada una de esta por lado de la cama.



Figura 4.2: Diseño definitivo. Fuente: Elaboración propia.

4.3. DISEÑO 3D

El diseño 3D de la estructura el cual se presenta en la figura 4.3 se obtuvo plasmando el boceto definitivo en el software de dibujo asistido por computadora llamado INVENTOR en la versión 2019, permitiendo una mejor visualización de los componentes de la estructura y el ensamble de todas las partes que lo componen.



Figura 4.3: Diseño completo de la estructura. Fuente: Elaboración propia

La estructura contempla un rodillo el cual posee perforaciones cada 15 [cm], esto para poder sujetar una cinta de velcro por medio de remaches y esta a su vez se va unirá a la a una sábana, la cual esta enlazada y al rodillo del lado opuesto de la cama permitiendo trasladar y cambiar de posición a la persona en estado de dependencia, además este rodillo posee perforaciones en sus extremos para un acople rápido de la manilla, en el rodillo se acoplan 2 bujes de technyl, cada uno en cada extremo del rodillo como se puede ver en la figura 4.4,.



Figura 4.4: Vista de ensamble rodillo y buje. Fuente: Elaboración propia.

Tal como se mencionó anteriormente la manilla si introducirá en ellos orificios del extremo del rodillo, la manilla en si se compone de 3 elementos, el primero y principal es un perfil redondo liso al cual se le da una curvatura para que quede trabado en el rodillo al momento de accionarlo, el otro elemento es un tubo de technyl el cual permitirá un mejor agarre de la manilla y permitirá el deslizamiento entre la mano y el perfil por último se consideró un seguro Seager en el extremo de esta a modo de evitar que el tubo en la manilla se salga de su posición de funcionamiento, esto se muestra en la figura 4.5.



Figura 4.5: Componentes de la manilla ensamblado al rodillo. Fuente: Elaboración propia.

Los bujes se posicionan en las ranuras que se extrajeron del perfil tubular rectangular, con el fin de evitar el roce entre los perfiles, este perfil que sostiene el rodillo posee orificios a 10 [cm] uno del otro, los cuales permitirán la conexión entre perfiles de modo que se pueda alcanzar la altura necesaria por medio de pernos de cabeza hexagonal, además se debe de señalar que en la parte superior de este tendrá el sistema de seguridad, esto se presenta en la figura 4.6.

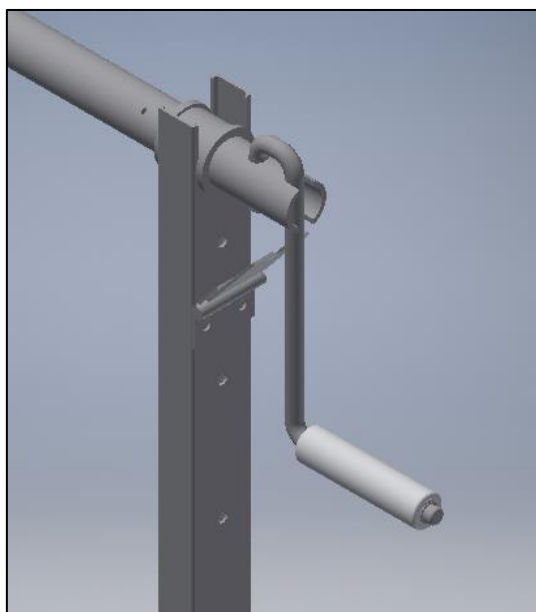


Figura 4.6: Vista soporte del rodillo. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Desarrollo

El sistema de seguridad empleado se compone de 2 partes, la bisagra que funcionará de pivote para que se utilice cuando sea necesario, ya que al momento de girar el rodillo con la manilla la bisagra estará hacia abajo, y cuando se desee trabar el mecanismo esta se deberá de subir y encajar en la manilla mediante la pletina que posee un ranura, evitando la rotación del rodillo, ya que esta se trabará por la fuerza ejercida en la manilla y no se caerá porque posee una distancia mayor que la separación entre la manilla y el perfil, esto se presenta a continuación en la imagen 4.7.

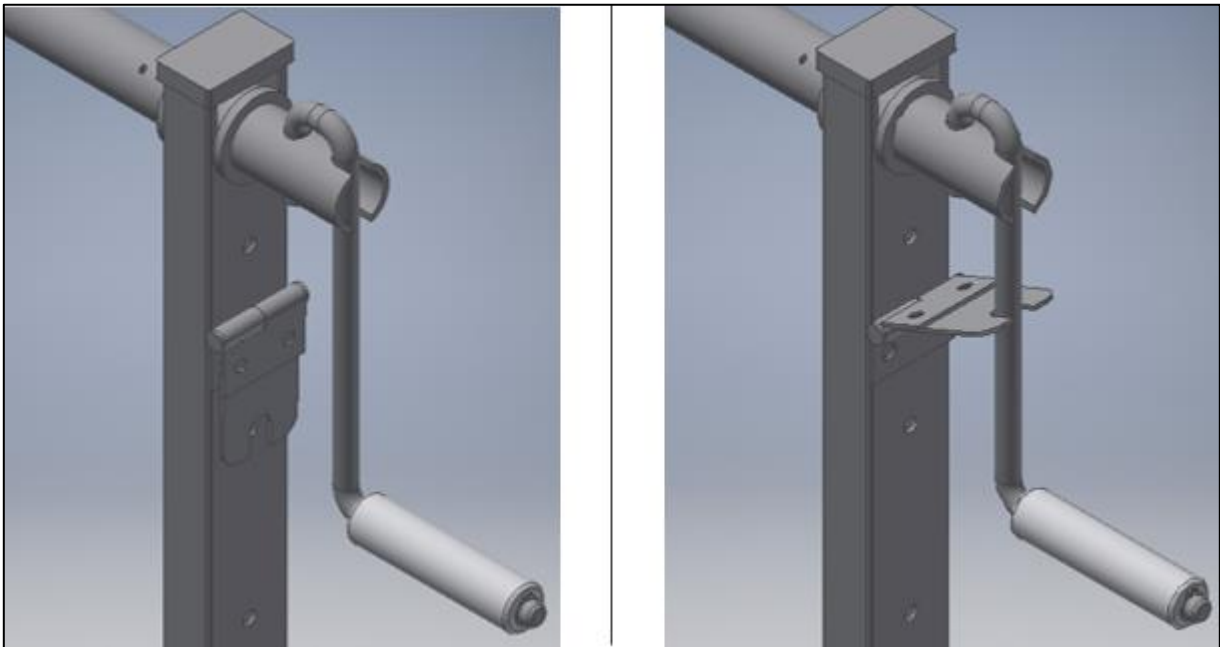


Figura 4.7: Posiciones del sistema de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

Los perfiles en la base de la estructura son de mayores dimensiones que el que está en contacto con el rodillo, esto para permitir el deslizamiento con el perfil interior y permitir la altura de estructura deseada, entre ambos perfiles posee un buje de metal, el cual tiene como una misión evitar el juego de estos perfiles en el momento de funcionamiento, el perfil inferior a su vez posee 3 trozos de perfil en ángulo doblado por el costado interno de la estructura, 2 de ellos con perforaciones para conectar los separadores de soportes en la parte superior como inferior, y el último de estos posee una ranura con el cual se logra la conexión entre los soportes opuestos por debajo de la cama mediante una cadena, de modo de asegurarse que ninguno de los soportes se mueva al momento de realizar el cambio de posición, todo esto se ilustra en la figura 4.8.

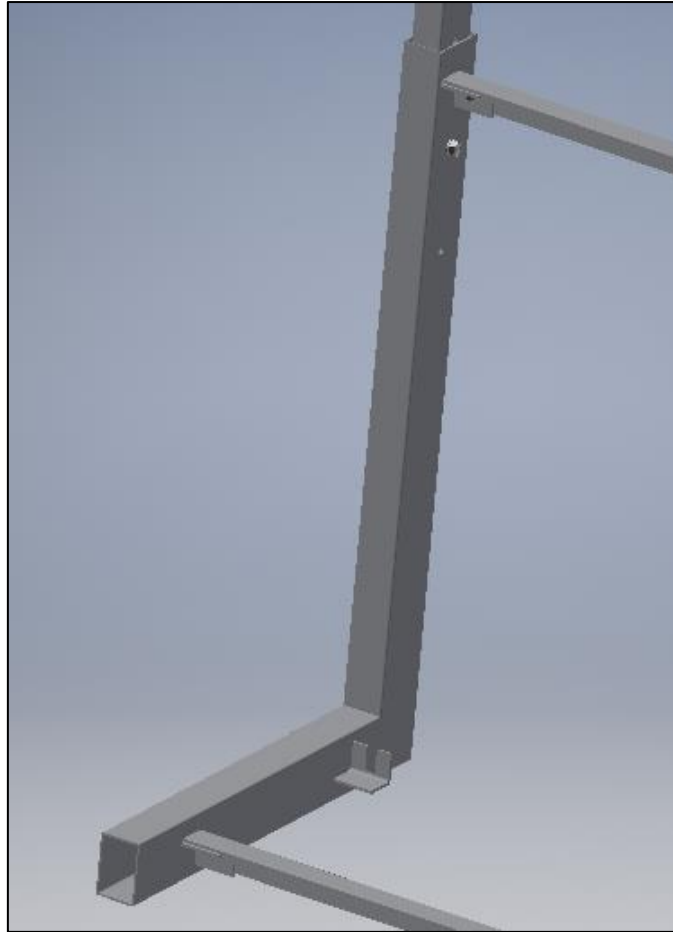


Figura 4.8: Vista soporte de la base con separador. Fuente: Elaboración propia.

4.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Los componentes que se consideraron para diseñar las distintas partes de la estructura son en su gran mayoría perfiles de acero SAE1020, los cuales se utilizaron para dar el soporte principal de la estructura, con estos se realizarán los cálculos estructurales y simulaciones numéricas, también se seleccionó una barra del polímero llamado Technyl con la cual se diseñaron los bujes del rodillo, con el propósito de evitar el roce entre los perfiles de acero, además se seleccionaron argollas y cable con forro de PVC para evitar que se pierdan los elementos más utilizados como son los pasadores, estos componentes se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Lista de componentes seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

Componentes seleccionados
Perfil tubular rectangular [60x40x2.0mm x6m]
Perfil tubular rectangular [50x30x2.0mm x6m]
Perfil ángulo doblado [30x30x3mm x 6 m]
Fierro redondo liso SAE1020 [12mm x6m]
Cañería con Costura ASTM A53 [1"]
Esmalte anticorrosivo Triple Accion 1 galón
Tubo technyl [50x30mm]
Tubo technyl [25x12mm]
Cadena de eslabón largo [6 mm x metro]
Set de bisagras [2" 2 unidades]
Perno [5/16" x 2" x 2 unidades]
Seguro Seagers Exterior [11 mm]
Remaches [3,2 x 10 mm]
Perno [1/4" x 1/2" x 4 unidades]

4.5. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Al momento de accionar el mecanismo para cambiar de posición a la persona, se consideran 2 situaciones principales, estas son cuando la persona está el extremo opuesto desde donde se desea mover, esto corresponde al ancho de la cama americana de 1500 [mm] de la largo y la otra posición la cual es independiente de la cama que se use, es la distancia más cercana a la estructura desde la cual se realiza la acción, considerando que se debe de colocar almohadas en la orilla para que la persona se mantenga en posición de decúbito lateral, esta distancia corresponde a 200 [mm], estas situaciones conllevan a que el ángulo de acción de la tensión en la sábana cambie según la posición de la persona, cabe mencionar que la altura que sobresale entre la estructura y la superficie de la cama es de 260 [mm], tal como se presenta en la figura 4.9.

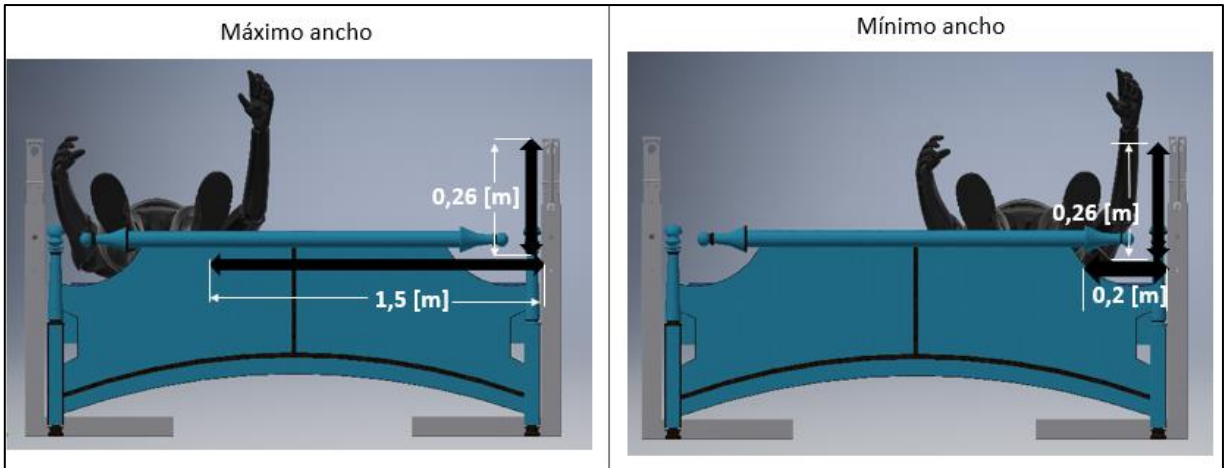


Figura 4.9: Representación gráfica de distancias para el cálculo de la tensión. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó se considerará una carga de 120 [kg] como peso de la persona postrada a movilizar, si bien el peso máximo registrado es de 86 [kg], esta magnitud permitirá tener un factor más conservador del que se obtendría con el peso real, con este valor se realizarán los cálculos estructurales de la estructura con el propósito de dar seguridad y buen funcionamiento de este mecanismo.

4.5.1. CÁLCULO DE LA TENSIÓN

Primero se determinaron los valores de los ángulos en las dos situaciones planteadas, mediante los cuales se determinarán las magnitudes en las distintas componentes de la tensión, estas magnitudes se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Ángulos para para cálculo de tensión. Fuente: Elaboración propia.

	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Ángulo Radianes	0,182	0,945	[Rad]
Ángulo Grados	10,452	54,140	[Grad]

Con esto definido se puede realizar el diagrama de cuerpo libre con el fin de encontrar la magnitud de la tensión en la sábana (T), la cual afectará directamente a la estructura.

Capítulo 4. Desarrollo

En el diagrama de cuerpo libre de la imagen 4.8 se presentan las fuerzas involucradas en el proceso, tales como la fuerza de roce, la fuerza normal y el peso denominado como ($m \cdot g$), cabe señalar que la magnitud del coeficiente de roce estático seleccionado es de 0,3[-].

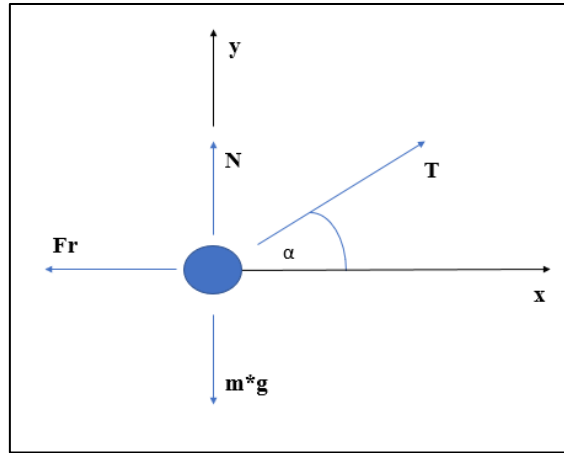


Figura 4.10: Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia.

Por medio del anterior diagrama de cuerpo libre se plantean las ecuaciones de equilibrio de fuerzas en los ejes X e Y como se presenta a continuación.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ -F_r + T \cdot \cos(\alpha) &= 0 \end{aligned} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ N - (m \cdot g) - T \cdot \sin(\alpha) &= 0 \end{aligned} \quad (\text{Ec. 17})$$

Despejando T de la ecuación 16 al igual que N de la ecuación 17 y reemplazando esta última en la ecuación 16 se obtiene:

$$T = \frac{m \cdot g \cdot \mu_s}{\cos(\alpha) + \mu_s \cdot \sin(\alpha)} \quad (\text{Ec. 18})$$

Con la expresión de la ecuación 18 se determinaron las tensiones en la sábana para ambas situaciones, esto significa para cuando se encuentra en el máximo ancho y mínimo ancho, a su vez se presentan las magnitudes de estas tensiones en ambas componentes, el resultado se presenta en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Magnitud de la tensión en ambas posiciones. Fuente: Elaboración propia.

	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Tensión	340,29	426,04	[N]
Tx	334,64	249,57	[N]
Ty	61,73	345,29	[N]

4.5.2. CÁLCULO DE RESISTENCIA EN EL RODILLO

Con las tensiones calculadas se realizó el diagrama de cuerpo libre del rodillo, para realizar los diagramas de corte y de momento, esto con el fin de encontrar los esfuerzos normales y corte que se producen en el rodillo, además se debe de destacar que se utilizará una cañería con costura ASTM A53 la cual funcionará como rodillo, esta posee las siguientes dimensiones tal como se muestra en la siguiente tabla 4.5.

Tabla 4.5: Especificaciones dimensionales y geométricas del rodillo. Fuente: Elaboración propia.

Datos rodillo	Magnitud	Unidad
Largo rodillo	1,4	[m]
Diámetro rodillo exterior	0,0334	[m]
Radio exterior	0,0167	[m]
espesor	0,00338	[m]
Radio interior	0,01332	[m]
Inercia Cilindro	3,63647E-08	[m ⁴]
Área sección transversal	0,0003188	[m ²]

Se consideraron 2 situaciones a evaluar, la primera es suponer que la carga sobre el rodillo es puntual en centro y el otro caso es una carga distribuida tal como se ilustra en la imagen 4.11.

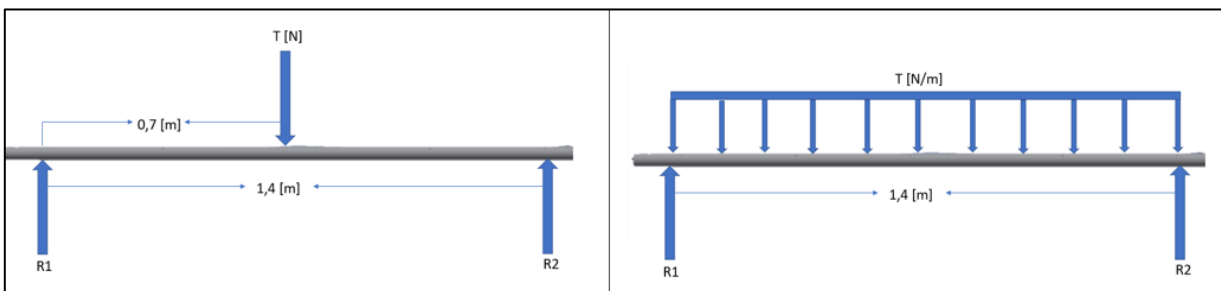


Figura 4.11: Situaciones para el cálculo de las reacciones. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Desarrollo

De la figura anterior se realizó el diagrama de cuerpo libre del cual se obtuvieron las siguientes relaciones que se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Expresiones matemáticas para el cálculo de reacciones internas de ambas situaciones. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Carga puntual	Carga distribuida
Fuerza de corte	$V = \pm \frac{T}{2}$	$V = \pm \frac{T * L}{2}$
Momento flector	$M = \frac{T * L}{4}$	$M = \frac{T * L^2}{8}$
Deflexión máxima	$y = \frac{T * L^3}{48 * E * I}$	$y = \frac{5 * T * L^4}{384 * E * I}$

De este modo se pudo conocer que la situación más crítica es cuando se tiene la carga puntual, ya que al comparar ambos casos la zona más crítica es a la mitad, tal como se presenta en la comparación de los diagramas de corte y de momento de la figura 4.12.

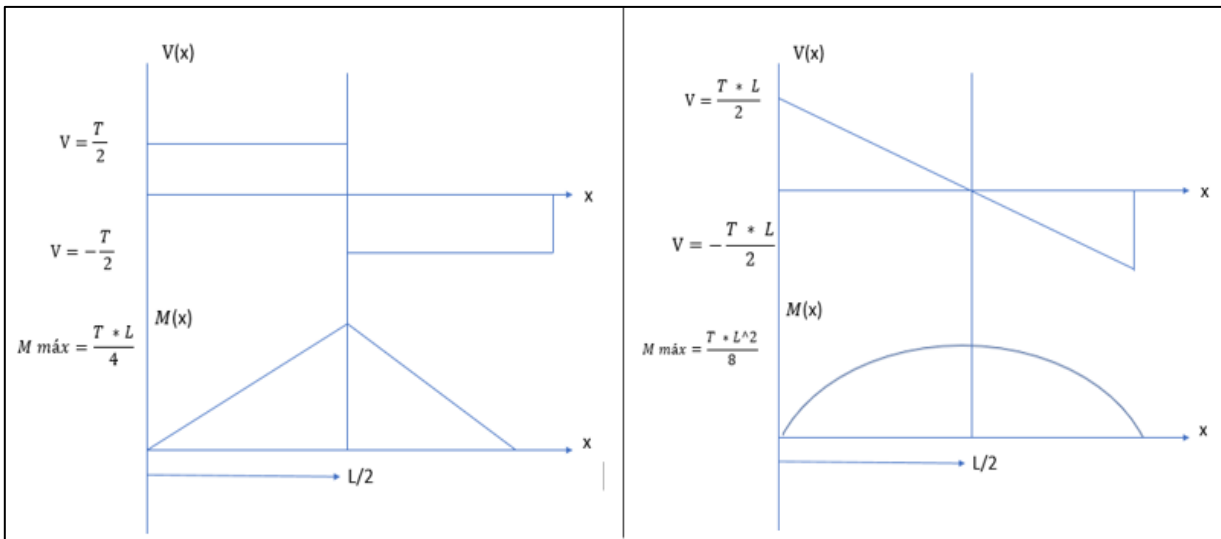


Figura 4.12: Diagramas de corte y momento para ambas situaciones. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Desarrollo

La magnitud de la fuerza de corte y el momento flector máximo en ambos ejes son los que se presentan a continuación en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Magnitud de fuerzas internas y deflexión máxima. Fuente: Elaboración propia.

Carga puntual			
Criterio	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Fuerza de corte Tx	167,32	124,79	[N]
Fuerza de corte Ty	30,87	172,64	[N]
Momento flector Máximo Tx	117,12	87,35	[Nm]
Momento flector Máximo Ty	21,61	120,85	[Nm]
Deflexión Máxima Tx	0,00263	0,00196	[m]
Deflexión Máxima Ty	0,00049	0,00271	[m]

Con los valores obtenidos anteriormente se calculó los esfuerzos de corte en ambos ejes, con ayuda del diagrama de corte se pudo conocer que la fuerza de corte total en la sección más solicitada es la diferencia entre el máximo y el mínimo, lo que da como resultado al doble de la magnitud de la fuerza de corte presentada en la tabla anterior, esta carga se sustituyó en la ecuación 9, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8: Esfuerzos de corte en el plano x e y. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo de corte	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Eje (x)	1,0498	0,7829	[Mpa]
Eje (y)	0,1937	1,0832	[Mpa]

De la misma forma se sustituyó la magnitud del momento flector máximo, en la ecuación 8, de la cual se obtuvo los siguientes esfuerzos normales máximos en ambos ejes tal como se presenta en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Magnitud del esfuerzo normal máximo. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo normal máximo		
Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
53,788	40,115	[Mpa]
9,922	55,499	[Mpa]

Además de estos esfuerzos también se debe de considerar el momento torsor en el rodillo, el cual es máximo en la mitad de este y a la vez genera un esfuerzo de corte máximo en toda la superficie del rodillo, el diagrama de corte del momento de torsor se presenta a continuación en la figura 4.13.

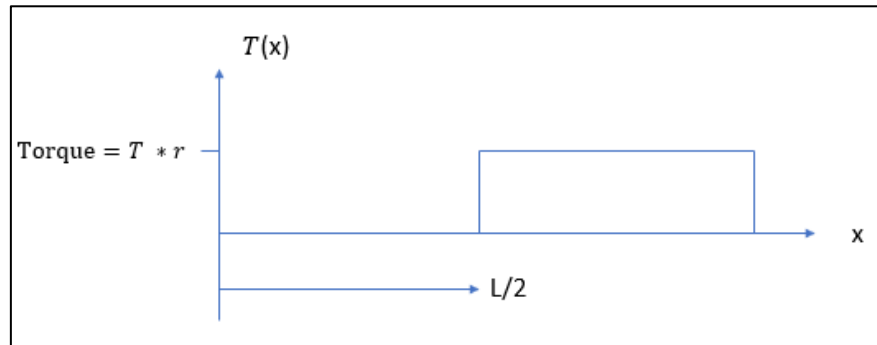


Figura 4.13: Diagrama del momento torsor en el rodillo. Fuente: Elaboración propia.

La magnitud del momento torsor se obtuvo mediante el producto de la tensión por el radio exterior del rodillo, esta magnitud en conjunto con los valores geométricos del elemento se pudo encontrar el esfuerzo de corte por torsión en el eje, el cálculo se realizó por medio de la ecuación 10 y los resultados se presentan en la tabla 4.10.

Tabla 4.10: Esfuerzo de corte por momento torsor. Fuente: Elaboración propia.

Datos para torsión del eje	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Torsión máxima	5,68	7,11	[Nm]
c (Radio exterior del rodillo)	0,0167	0,0167	[m]
J (Momento polar de inercia)	7,273E-08	7,273E-08	[m^4]
Esfuerzo de corte por torsión	1,305	1,634	[MPa]

Capítulo 4. Desarrollo

Para el cálculo del esfuerzo de Von Mises aplicado al rodillo, se sustituyen los esfuerzos de corte en la ecuación 15, en conjunto con los esfuerzos de los momentos flectores máximos de los respectivos ejes, el resultado de este esfuerzo es de aproximadamente de 50 [MPa], tal como se presenta en la tabla 4.11 , con esto se puede determinar que el factor de seguridad presente en el rodillo es de 5 [-], dando la seguridad necesaria al elemento para su correcto funcionamiento.

Tabla 4.11: Cálculo de teoría de falla y factor de seguridad del rodillo. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo Von Mises		
Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
49,663	49,763	[MPa]
F.S (factor de seguridad)		
Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
5,03	5,02	[-]

4.5.3. CÁLCULO DE ESFUERZO EN LA MANILLA

Para el cálculo de los esfuerzos implicados en la manilla se realizó el diagrama de cuerpo libre de la barra en posición horizontal de modo que el análisis estático se asemeje a una viga en voladizo con una carga en el extremo definida como F_h simulando la acción por la fuerza humana, además de considerar el momento M generado es por la acción de la tensión en la sábana T alrededor del rodillo y la reacción R_1 se debe al encaje de la manilla en el rodillo, a este se le agrega la reacción en la estructura producto de la tensión en la sábana $T/2$, las reacciones descritas se presentan en la figura 4.14.

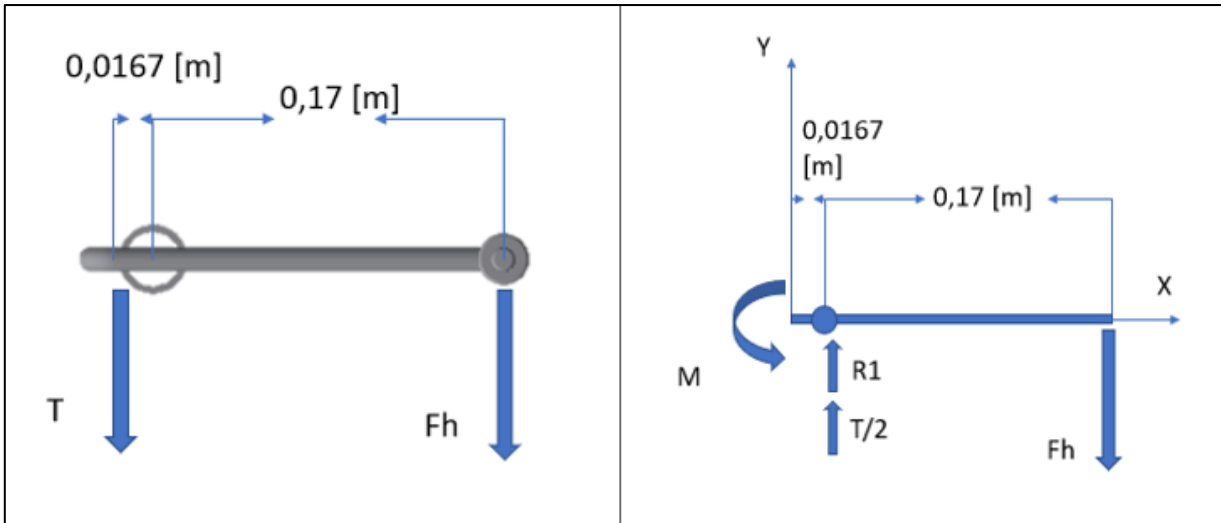


Figura 4.14: Boceto y diagrama de cuerpo libre de la manilla. Fuente: Elaboración propia.

Con el diagrama de cuerpo libre de la imagen anterior se realizaron las ecuaciones de equilibrio.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_h &= R_1 + T/2 \end{aligned} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ F_h * 0,17 &= M \end{aligned} \quad (\text{Ec. 20})$$

Con las ecuaciones anteriores se puede determinar F_h que es igual a R_1 , con esto se pueden realizar los diagramas de corte y de momento de modo de conocer el punto de la manilla más solicitada, el resultado de las expresiones anteriores se observa en la tabla 4.12.

Tabla 4.12: Cálculo de las reacciones en la manilla. Fuente: Elaboración propia.

Reacciones en manilla	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
M Momento	-5,68	-7,11	[Nm]
T/2	30,87	172,64	[N]
Fh (fuerza humana)	-33,43	-41,85	[N]

Los diagramas de corte y de momento que se presentan a continuación en la imagen 4.15 poseen los valores de la situación denominada como mínimo ancho, ya que es esta la que posee las

Capítulo 4. Desarrollo

mayores magnitudes sobre la manilla y son con estas mismas con las que se realizarán los cálculos para la teoría de falla.

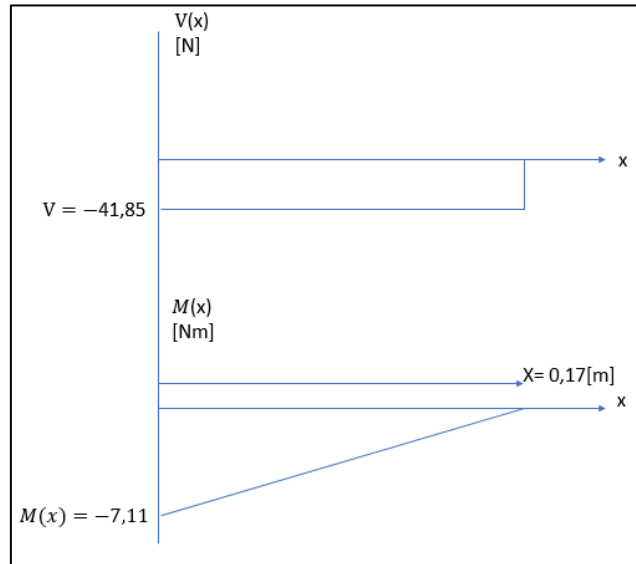


Figura 4.15: Diagrama de corte y de momento de la manilla. Fuente: Elaboración Propia.

El cálculo de los esfuerzos se realizó reemplazando las magnitudes correspondientes en las ecuaciones 8 y 9 respectivamente, además mediante el diagrama se pudo conocer que la sección más solicitada de la manilla es en $X = 0$ [m], estos resultados se presentan en la tabla 4.13.

Tabla 4.13: Propiedades geométricas de la manilla y cálculo de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia.

Datos de la manilla		
Diámetro	0,012	[m]
Área transversal	0,0001131	[m ²]
I (momento de inercia)	1,0179E-09	[m ⁴]
Esfuerzos en la manilla		
Esfuerzo máximo normal	-41,939	[MPa]
Esfuerzo de corte	-0,370	[MPa]

Si bien los esfuerzos anteriores son de gran importancia para verificarlos con el esfuerzo de Von Mises, se debe señalar que en la manilla se está produciendo simultáneamente un momento torsor, provocado por F_h con una distancia perpendicular al eje de rotación de 0,05 [m], el cual

Capítulo 4. Desarrollo

incide como un esfuerzo en $X = 0$ [m], este momento y esfuerzo de corte se presentan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14: Cálculo de esfuerzo de corte por torsión en la manilla. Fuente: Elaboración propia.

Datos para el cálculo de torsión		
T (momento torsor)	-2,097	[Nm]
c (Radio exterior)	0,006	[m]
J (Momento polar)	2,036E-09	[m ⁴]
Esfuerzo de corte por torsión	-6,180	[MPa]

Luego de calcular los esfuerzos principales en la manilla se procede a comprobar la resistencia estructural de la manilla por medio del esfuerzo de Von Mises para dar paso al cálculo del factor de seguridad, estos cálculos se presentan en la tabla 4.15.

Tabla 4.15: Resultado del Esfuerzo Von Mises y el factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo Von Mises	43,289	[MPa]
F.S factor de seguridad	5,78	[-]

Mediante lo anterior se puede decir que la manilla no fallará por lo que el dimensionamiento de esta permite un buen funcionamiento del mecanismo.

4.5.4. CÁLCULO DE RESISTENCIA EN SOPORTE DEL RODILLO

El soporte del rodillo es un perfil rectangular tubular de 50 x 30 x 2 [mm], este perfil es el que provoca la reacción en el rodillo con lo cual presenta una magnitud igual, pero en sentido opuesto, la cual provoca un esfuerzo axial en este, tal como se presenta en la figura 4.16

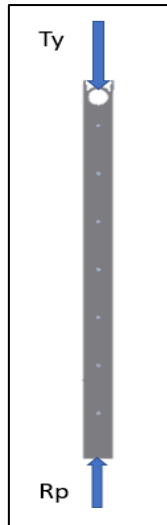


Figura 4.16: Carga axial en el soporte del rodillo. Fuente: Elaboración propia.

Con las reacciones definidas, se presenta a continuación en la tabla 4.16 las características del perfil y dimensiones del perfil a evaluar estructuralmente.

Tabla 4.16: Propiedades geométricas y dimensionales del soporte. Fuente: Elaboración propia.

Datos soporte del rodillo	Magnitud	Unidad
Área transversal	294	[mm ²]
Área de perforaciones	32	[mm ²]
Área transversal total	262	[mm ²]
Área transversal	0,000294	[m ²]
Inercia X-X	9,52E-08	[m ⁴]
Inercia Y-Y	4,28E-08	[m ⁴]

Este perfil presenta perforaciones las cuales se utilizar para conectar este perfil con otro de mayor dimensión ya que ambos permitirán la altura que se requiere para cada persona en estado de dependencia severa, esta perforación produce una reducción del área transversal del perfil, que es con la cual se realizará el cálculo de esfuerzo axial del elemento, el módulo de la magnitud se presenta en la tabla 4.17.

Tabla 4.17: Esfuerzo axial de compresión en el soporte. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo axial		
Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
0,1178	0,6589	[Mpa]

El esfuerzo axial obtenido es ínfimo lo que da a entender que este elemento no fallará por compresión, por lo cual se realizará el cálculo de pandeo en esta columna lo que permitirá verificar de la resistencia estructural del soporte, este cálculo y los datos respectivos se presentan en la tabla 4.18.

Tabla 4.18: Factores para el cálculo de pandeo y resultado del esfuerzo en ambos ejes.

Fuente: Elaboración propia.

Pandeo en soporte del eje	Magnitud	Unidad
Largo soporte	0,64	[m]
K (factor de condición)	1	[-]
Le (longitud equivalente)	0,64	[m]
r (radio de giro) X-X	0,01799	[m]
r (radio de giro) Y-Y	0,01207	[m]
Esfuerzo crítico X-X	1560,484	[MPa]
Esfuerzo crítico Y-Y	701,562	[MPa]

De lo anterior se puede inferir que el esfuerzo crítico para que la columna falle por pandeo es de 701 [MPa] en el eje de menor momento de inercia.

Para conocer la carga crítica con la cual se producirá falla por pandeo se debe de utilizar la siguiente ecuación.

$$P_{crítica} = \frac{\pi^2 * E * I}{Le^2} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

$P_{crítica}$ = Carga crítica para falla por pandeo

E = Modulo de elasticidad del material del elemento

Capítulo 4. Desarrollo

I = Momento de inercia menor

L_e = Longitud equivalente de la columna según las condiciones

Por lo tanto, la carga crítica para que el elemento se pandee debe de ser igual o superior a 206,259 [KN], esto quiere decir que con la carga actual la columna no se pandeará.

4.5.5. ESFUERZO DE CORTE POR FLEXIÓN EN SOLDADURA

El soporte inferior de la estructura presenta unión por soldadura, esta sección es una de las más solicitadas ya que, la soldadura debe de resistir el esfuerzo de corte que se produce por flexión del largo de los soportes unidos, se debe de mencionar que la soldadura a realizar es mediante un filete a tope de sección cuadrada, el perfil soldado es de 60 x 40 x 2 [mm], por lo que al extremo del perfil se le realiza un corte en 45° para una unión de 90° con el otro trozo del perfil que está por debajo de la cama, la longitud de tal corte es de 84,85 [mm] y la garganta de soldadura se asumirá como el espesor del perfil.

El esfuerzo flector se produce por la acción la tensión en el eje X, tanto para el caso de máximo ancho y mínimo ancho, esta carga al multiplicarla por el largo máximo del soporte 1,3 [m] se obtiene el momento flector máximo que afectará a la soldadura, al sustituir en la ecuación 13 y 14 el momento en conjunto con los datos geométricos de la soldadura se obtiene el esfuerzo por flexión en la soldadura, estas magnitudes se presentan a continuación en la tabla 4.19.

Tabla 4.19: Resultado del esfuerzo de corte en la soldadura. Fuente: Elaboración propia.

Soldadura por flexión	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Momento flector máximo	217,52	162,22	[N]
Inercia unitaria del área	1,440E-07	1,440E-07	[m ⁴]
centroide de la soldadura	0,0424	0,0424	[m]
Esfuerzo de corte por flexión	64,10	47,81	[MPa]

Luego de obtener el esfuerzo de corte por flexión en la soldadura, se tiene que evaluar en la teoría de falla que es el esfuerzo de Von Mises, y luego esta magnitud compararla con el esfuerzo

Capítulo 4. Desarrollo

admisible recomendado para este tipo de soldadura, la cual se presentó en la tabla 2.3 con el propósito de comprobar que esta unión soldada resiste la carga determinada en la situación más desfavorable, estos resultados se presentan en la tabla 4.20.

Tabla 4.20: Esfuerzo Von Mises para soldadura y esfuerzo admisible recomendado. Fuente Elaboración propia.

Esfuerzo Von Mises para soldadura		
Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
111,025	82,802	[MPa]
Esfuerzo admisible para soldadura E60xx		
207		[MPa]

Como se puede observar el esfuerzo admisible de la soldadura es de 207 [MPa], esto considerando un factor de seguridad de 1,6 y un esfuerzo de fluencia de la soldadura de 345 [MPa], este esfuerzo es mayor al esfuerzo de Von Mises, por lo que se puede verificar de que esta unión no fallará por el esfuerzo de corte en la soldadura.

4.5.6. ESFUERZO EN LA CADENA

Con respecto al esfuerzo en la cadena debe de considerar el diagrama de cuerpo libre como el que se presenta en la figura 4.17, en este caso se considerará el caso más desfavorable para la estructura, este es cuando presenta la máxima altitud, en el diagrama se pueden ver 3 reacciones, en la parte superior se tiene la componente de la tensión en el eje X, luego se presenta una reacción producto del apoyo que se podría generar en el borde de la cama y en la parte inferior se tiene la reacción en la cadena con el fin de evitar que la estructura en la parte inferior rote hacia afuera de la cama.

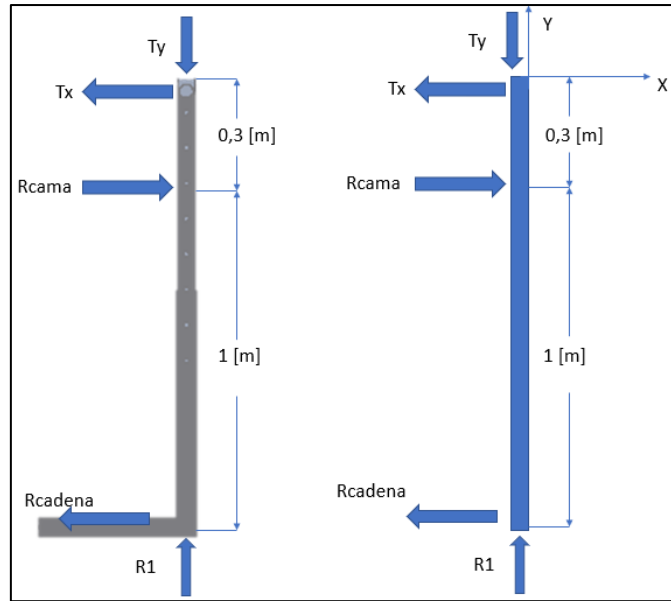


Figura 4.17: Boceto y diagrama de cuerpo libre para cálculo del esfuerzo en la cadena.

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior se pueden obtener las siguientes ecuaciones de equilibrio.

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{cama} - T_x - R_{cadena} = 0 \quad (\text{Ec. 22})$$

$$\sum M = 0$$

$$R_{cama} * 0,3 \text{ [m]} - R_{cadena} * 1,3 \text{ [m]} = 0 \quad (\text{Ec. 23})$$

De las cuales al despejar R_{cadena} de la ecuación y R_{cama} de la ecuación y reemplazar esta última en la anterior se obtiene que.

$$R_{cadena} = T_x * 0,3 \quad (\text{Ec. 24})$$

Al reemplazar la magnitud T_x en la ecuación 22, se obtienen las siguientes magnitudes para las reacciones de R_{cadena} y R_{cama} , tal como se presenta en la tabla 4.21.

Tabla 4.21: Resultado de reacciones del diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia.

Reacciones	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Rcadena	50,196	37,436	[N]
Rcama	217,517	162,223	[N]

La reacción máxima en la cadena es de 50,2 [N], la cual genera un esfuerzo de corte y esfuerzo normal axial en la cadena que une ambos soportes por debajo de la cama, estos esfuerzos se presentan en la tabla 4.22, en conjunto con el esfuerzo obtenido por la teoría de falla y el factor de seguridad que se obtendría al utilizarse una cadena de 6 [mm] de diámetro.

Tabla 4.22: Cálculo de la resistencia estructural en la cadena. Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo en la cadena	Máximo ancho	Mínimo ancho	Unidad
Diámetro de cadena	0,006	0,006	[m]
Área de cadena	0,0000283	0,0000283	[m ²]
Esfuerzo de corte	1,775	1,324	[MPa]
Esfuerzo normal	0,888	0,662	[MPa]
Esfuerzo Von mises	3,201	2,387	[MPa]
F.S. Factor de seguridad	78,11	104,74	[-]

Lo anterior permite concluir que la cadena posee un factor de seguridad extremadamente alto, por lo que se podría decir que está sobredimensionada, sin embargo, en el ámbito de costos en cuanto al costo de esta no es elevado, como para decidir cambiarla por una de menor diámetro.

4.6. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

4.6.1. SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL RODILLO

La simulación estructural del rodillo se desarrolló con el propósito de compararla con los resultados matemáticos expuestos anteriormente, además de permitir encontrar alguna falencia o posibilidad de volver a diseñar alguna sección con la finalidad de mantener la integridad estructural del rodillo, en la figura 4.18 se presentan las reacciones en el rodillo.

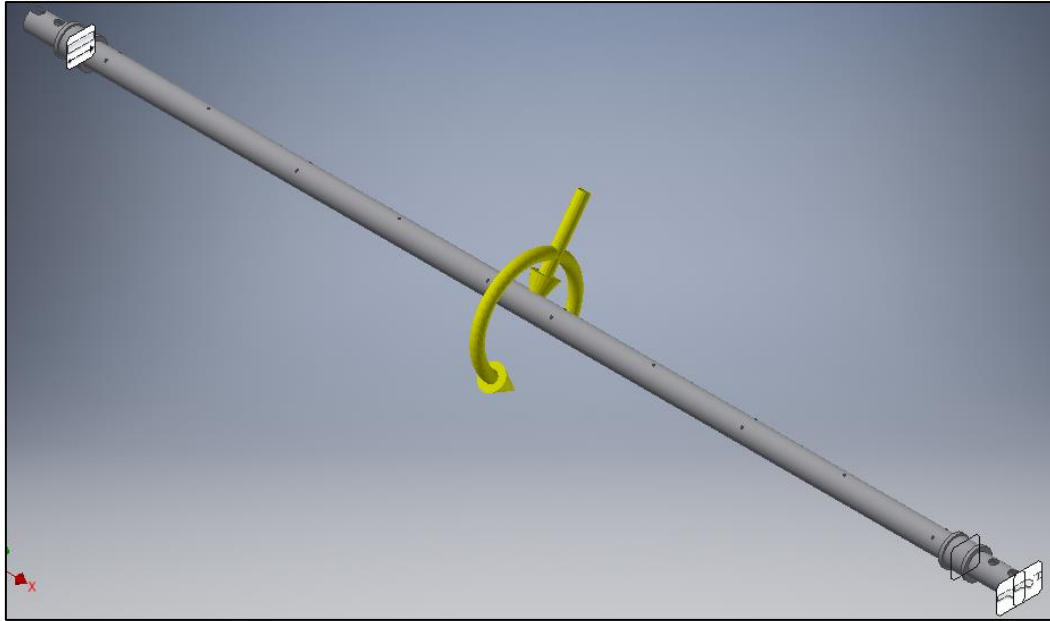


Figura 4.18: Reacciones en el rodillo para simulación computacional. Fuente: Elaboración propia.

Las reacciones que se presentan en la imagen anterior son de apoyos simples en los bujes de los extremos, la aplicación de la tensión en sus respectivas componentes x e y, además del momento torsor provocado para la tensión sobre la superficie del rodillo en el centro del rodillo y finalmente en el extremo donde se posiciona la manilla un apoyo fijo.

Los resultados obtenidos por la simulación son muy similares en magnitud, ya que la tensión de Von Mises es de la magnitud de 47 [MPa] comparados a los 50 [MPa] obtenidos por el método matemático, este esfuerzo entrega un factor de seguridad mínimo de 5,3 [-], además se obtuvo una deflexión máxima en el eje Y de alrededor de 0,5 [mm] mientras que por el método matemático resultó ser de 0,3 [mm] aproximadamente, estos resultados se presentan a continuación en las figuras 4.19, 4.20, y 4.21 respectivamente.

Capítulo 4. Desarrollo

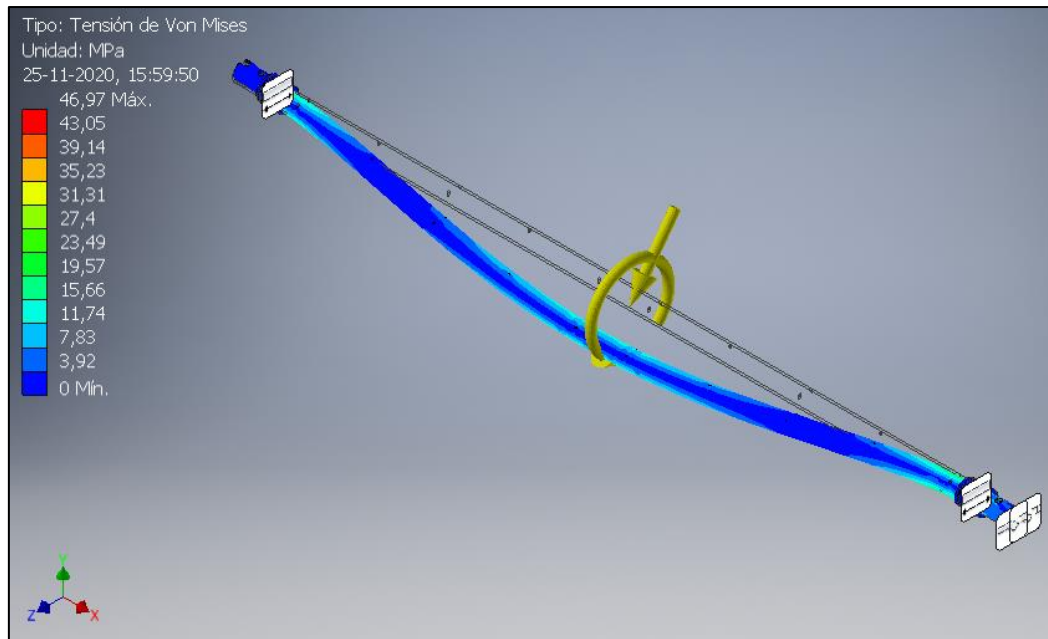


Figura 4.19: Esfuerzo Von Mises mediante simulación computacional en el rodillo. Fuente: *Elaboración Propia.*

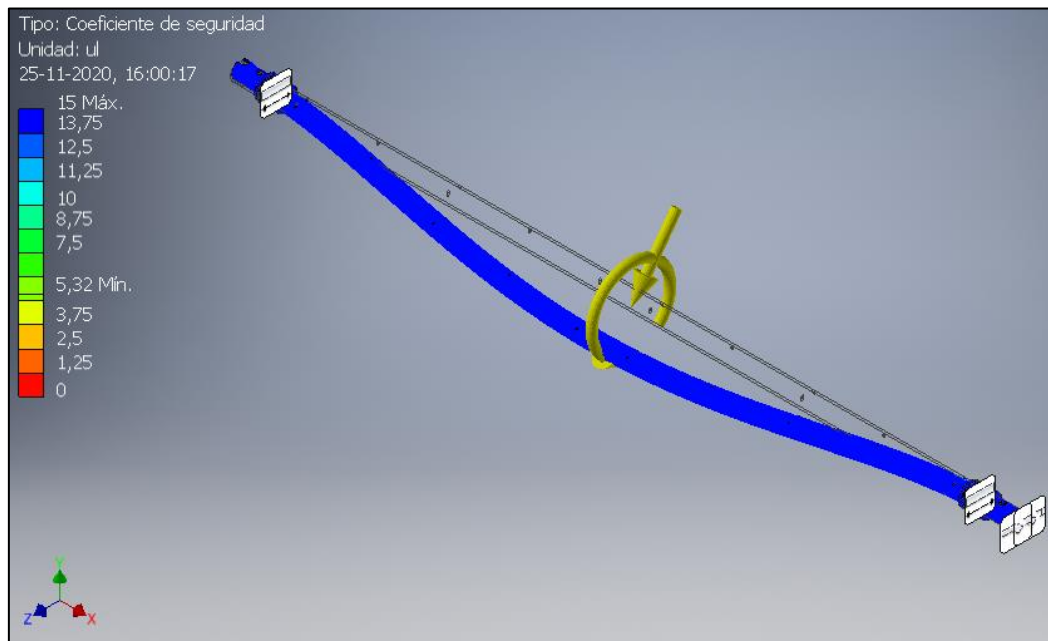


Figura 4.20: Factor de seguridad determinado mediante simulación computacional. Fuente: *Elaboración Propia.*

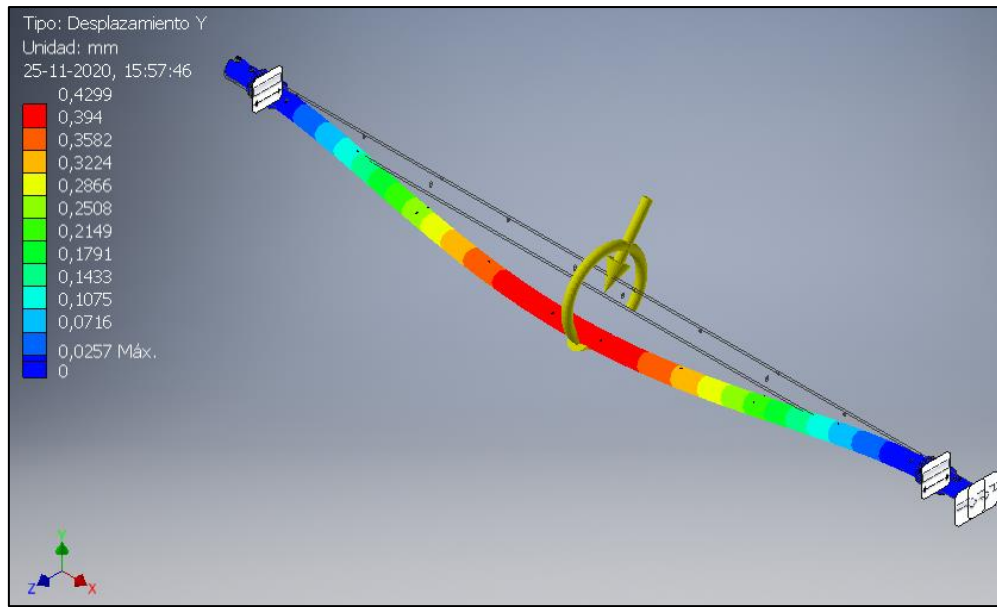


Figura 4.21: Deflexión máxima en el eje Y. Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MANILLA

Para poder simular estructuralmente la manilla se colocó una restricción de movimiento fija en el rodillo, con el fin de simular la aplicación del momento torsor provocado por la tensión radial en el rodillo y la fuerza tangencial al eje axial de la manilla, esto se muestra en la figura 4.22.

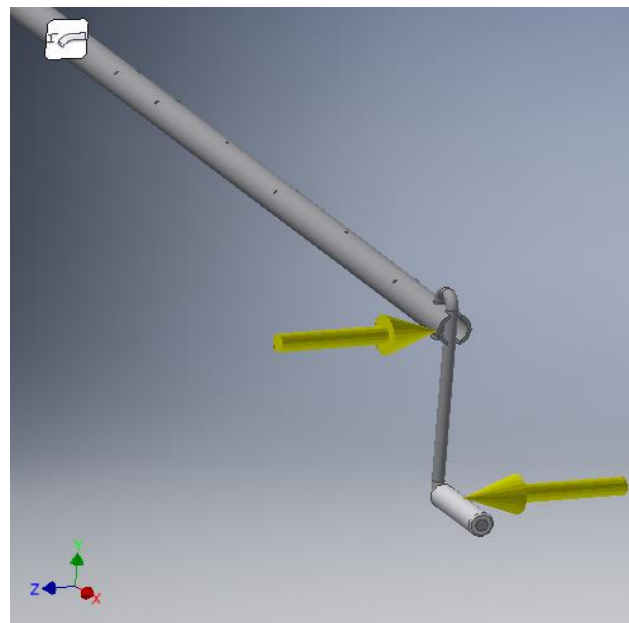
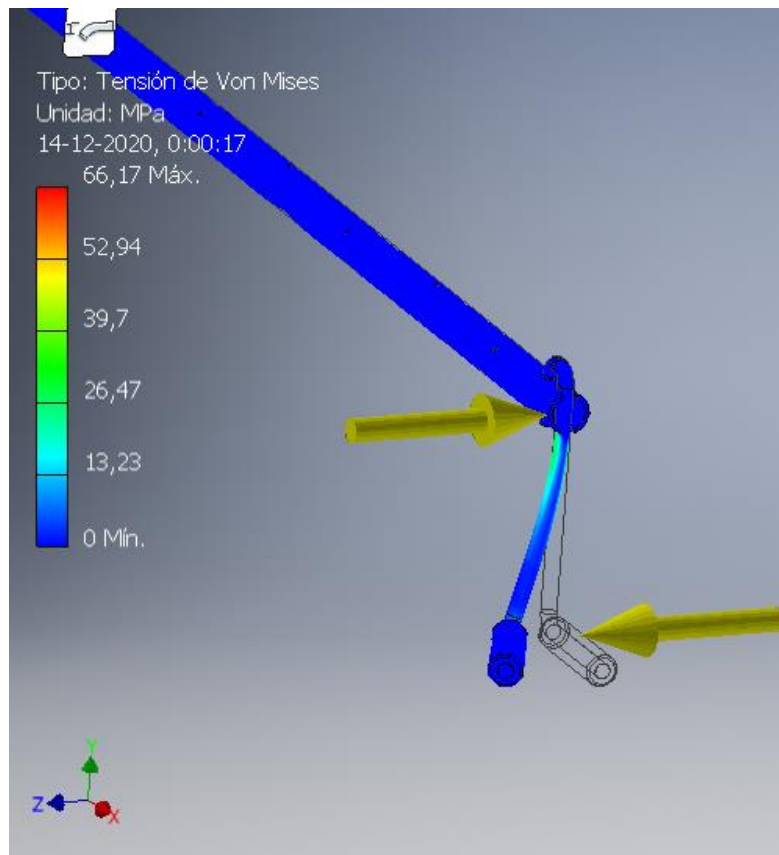


Figura 4.22: Restricciones en el rodillo y fuerzas externas. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Desarrollo

En cuanto al esfuerzo Von Mises obtenido por la simulación este es de alrededor de 66,2 [MPa] lo que significa que es aproximadamente 1,5 veces del calculado con las expresiones matemáticas de resistencia de materiales, esto implica que el factor de seguridad sea de alrededor de 3,78 [-], no obstante el factor encontrado no señala que se deba de reemplazar la manilla por otra de mayores dimensiones, otro aspecto importante a destacar es la magnitud de la deflexión en la manilla la cual es aproximadamente de 0,6 [mm] en el eje Z, estos resultados se presentan a continuación en las figuras 4.23, 4.24, y 4.25 respectivamente.



*Figura 4.23: Esfuerzo Von Mises determinado mediante simulación computacional. Fuente
Elaboración propia.*

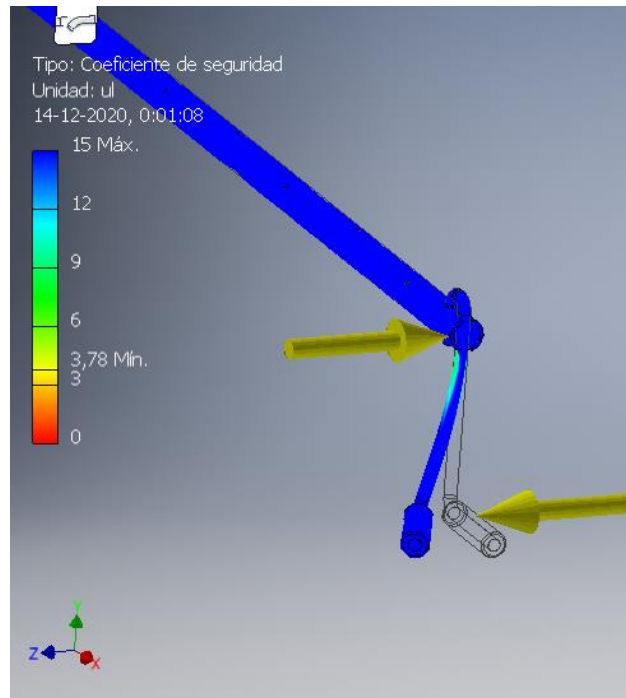


Figura 4.24: Factor de seguridad determinado mediante simulación computacional. Fuente Elaboración propia.

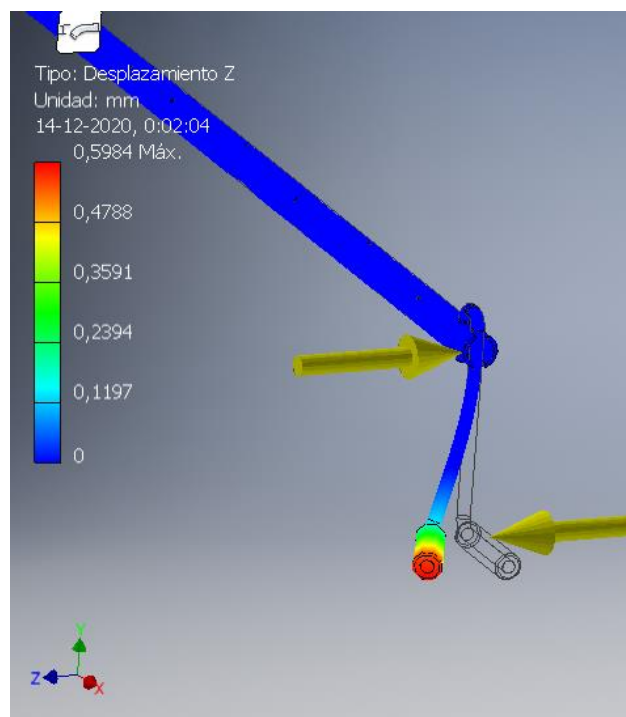


Figura 4.25: Deflexión máxima en la manilla determinado mediante simulación computacional. Fuente Elaboración propia.

4.6.3. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL SOPORTE PRINCIPAL

La siguiente simulación estructural comprende a todos los componentes del soporte principal del rodillo, las restricciones de la estructura fueron el apoyo simple en la base del soporte y la restricción en el tipo pasador en el perno que une ambos perfiles, en cuanto a las cargas aplicadas a la estructura se colocó, una fuerza en el interior del buje la cual representa a la tensión en los respectivos ejes X e Y determinada anteriormente, otra fuerza puntual la cara frontal del perfil, la cual representa la reacción que tiene la estructura en el borde de la cama, mientras que la última carga es la reacción que se produce en la cadena, estas se pueden observar en la figura 4.26.

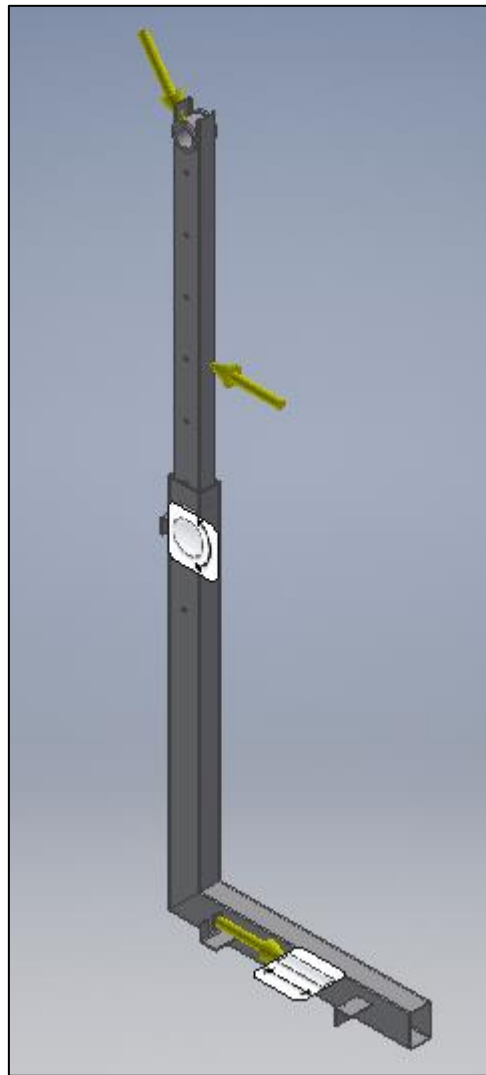


Figura 4.26: Reacciones y fuerzas externas aplicadas en el soporte. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Desarrollo

Con este análisis computacional de la estructura se logró determinar la sección más crítica de la estructura, la cual pertenece al perno que une los perfiles, del cual se determinó que el esfuerzo generado en ese elemento de unión es de aproximadamente 136 [MPa], según el esfuerzo de Von Mises, este esfuerzo implica que el factor de seguridad mínimo empleado en el perno sea de 1,88 [-], así mismo se pudo conocer la deflexión máxima de la estructura en el eje X, la cual posee una magnitud de 1 [mm], lo anterior se puede observar en las figuras 4.27, 4.28 y 4.29 respectivamente.

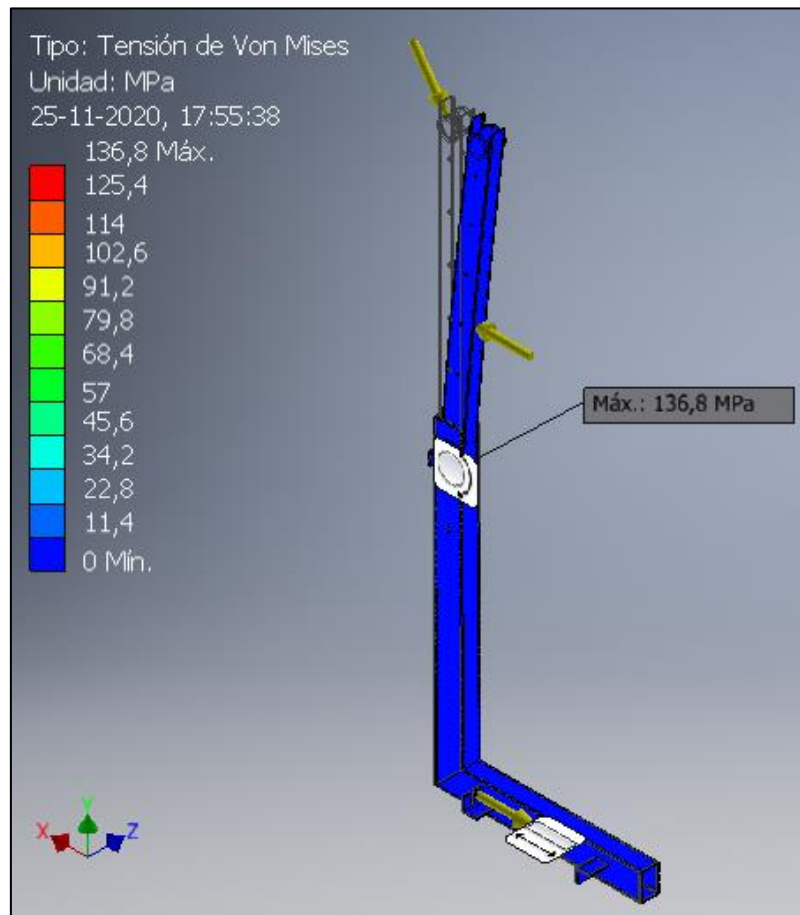


Figura 4.27: Esfuerzo Von Mises determinado por la simulación computacional. Fuente: Elaboración Propia.

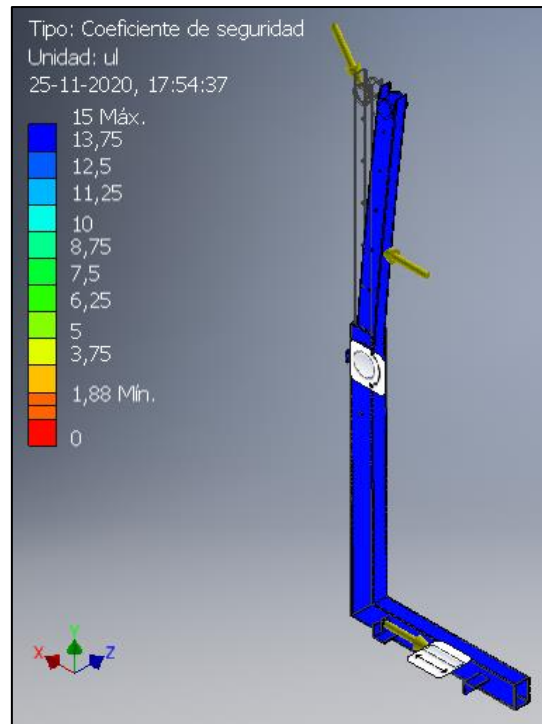


Figura 4.28: Factor de seguridad determinado mediante simulación computacional. Fuente: *Elaboración propia.*

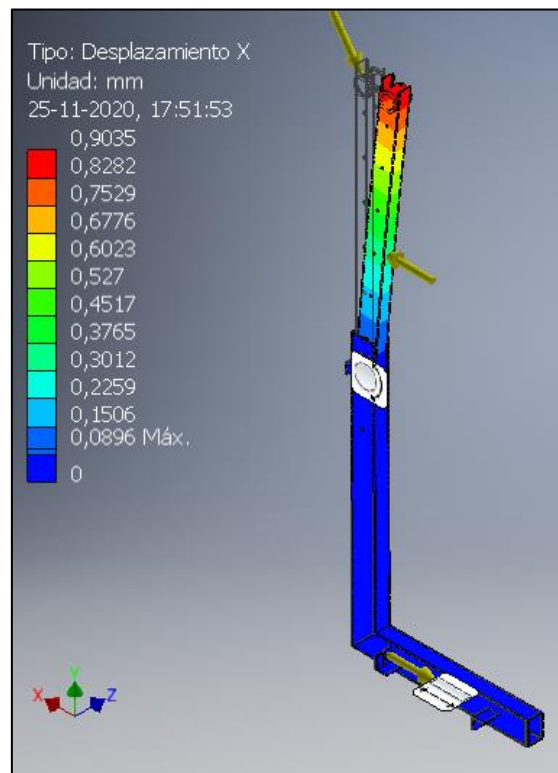


Figura 4.29: Deflexión máxima del soporte en la parte superior. Fuente: *Elaboración propia.*

4.7. COSTO DE LA ESTRUCTURA COMPLETA

La estructura completa contempla los componentes seleccionados en la tabla 4.23, de los cuales se determinó cuanto es la cantidad en metro lineal para el caso de los perfiles y de unidades para los accesorios a utilizar, se determinó a su vez el precio en proporción de la cantidad de material a utilizar.

Tabla 4.23: Costo de componentes seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

Componentes seleccionados	Cantidad [m] o [Un]	Precio producto (CLP)	Proporción (CLP)	Costo final (CLP)	Precio final (CLP)
Perfil tubular rectangular [60x40x2.0mm x6m]	4,76	\$ 16.890	\$ 2.815	\$ 13.399	\$ 16.890
Perfil tubular rectangular [50x30x2.0mm x6m]	3,04	\$ 12.390	\$ 2.065	\$ 6.278	\$ 12.390
Perfil ángulo doblado [30x30x3mm x 6 m]	2,92	\$ 7.590	\$ 1.265	\$ 3.694	\$ 7.590
Fierro redondo liso SAE1020 [12mm x6m]	0,45	\$ 7.390	\$ 1.232	\$ 554	\$ 7.390
Cañería con Costura ASTM A53 [1"]	1,5	\$ 15.890	\$ 2.648	\$ 3.973	\$ 15.890
Esmalte anticorrosivo Triple Accion 1 galón	1	\$ 38.188	\$ 19.094	\$ 19.094	\$ 38.188
Tubo technyl [50x30mm]	0,16		\$ 10.000	\$ 1.600	\$ 1.600
Tubo technyl [25x12mm]	0,1		\$ 10.000	\$ 1.000	\$ 1.000
Cadena de eslabón largo [6 mm x metro]	4		\$ 2.940	\$ 11.760	\$ 11.760
Set de bisagras [2" 2 unidades]	2		\$ 1.490	\$ 2.980	\$ 2.980
Perno [5/16" x 2" x 2 unidades]	2		\$ 2.270	\$ 4.540	\$ 4.540
Seguro Seagers Exterior [11 mm]	1		\$ 55	\$ 55	\$ 55
Remaches [3,2 x 10 mm]	1		\$ 1.590	\$ 1.590	\$ 1.590
Perno [1/4" x 1/2" x 4 unidades]	2		\$ 1.690	\$ 3.380	\$ 3.380
Costo total por estructura completa				\$ 73.897	\$ 125.243

El costo total únicamente considerando la proporción de material a utilizar con respecto al precio total por unidad de material es de aproximadamente de 74.000 CLP, sin embargo, se debe de señalar que si se desea fabricar solo 1 estructura el costo será de 125.000 CLP, por la razón de que se compran las tiras de perfiles completas es decir de 6 [m] de largo, no obstante, con la primera estructura se minimizan los costos de la segunda, ya que los perfiles restantes de la primera sirven para fabricar la siguiente, se debe de señalar que los precios están con IVA.

El costo anterior como se puede apreciar el galón de esmalte anticorrosivo triple acción blanco, tiene un precio de aproximado de 40.000 CLP, la cual proporcionará la protección de los perfiles, además permitirá obtener el área sanitizada y de fácil limpieza, pensado especialmente para las condiciones actuales donde se debe de mantener una limpieza constante, se debe de señalar que este galón rendirá mínimo para la protección de 2 estructuras.

En el costo final por la fabricación de 1 estructura completa no se considera la mano de obra, no obstante, la estructura está diseñada para minimizar el tiempo de fabricación y ensamble

Capítulo 4. Desarrollo

haciendo este proceso más rápido, ya que no posee conexiones complejas entre los elementos, además de disminuir el trabajo de arranque de viruta, por lo que se puede decir que la estructura se puede fabricar alrededor de 3 o 4 días considerando la aplicación de la pintura.

4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis estructural que se realizará en gran parte comparando los resultados obtenidos en primera instancia por los cálculos matemáticos desarrollados mediante el software Excel de Microsoft Office y los resultados obtenidos por medio de las simulaciones computacionales con el software de diseño Inventor.

Los resultados en cuanto a la aplicación de la teoría de falla por medio del esfuerzo de Von Mises en el rodillo fueron similares, permitiendo verificar que el desarrollo matemático es congruente con lo obtenido en la simulación, además cabe de destacar que a pesar de tener oficios para la sujeción del velcro por remaches estos no presentan mayores concentraciones de esfuerzo, por lo tanto, este no fallará estructuralmente.

En cuanto a la manilla se puede decir que se obtuvo un buen factor de seguridad a pesar de que los resultados por los dos métodos de solución fueron distintos, sin embargo, el diseño de esta manilla permite el cambio rápido y seguro entre todos los extremos de los rodillos, además de que el tiempo de fabricación de esta manilla es mínimo en comparación a la manilla que se fabricó para el prototipo, ya que no posee ensambles ni conexiones complejas.

Los resultados que se obtuvieron del soporte para el rodillo son complementarios, ya que en el caso de la simulación no se obtuvieron resultados en cuanto al pandeo, mientras que por el análisis matemático se pudo comprobar que la estructura no se pandeará, de esta misma forma no se realizaron cálculos del perno que sujeta los perfiles, ya que se pudo conocer por medio de la simulación que a pesar de ser el elemento más solicitado de la estructura este no tendrá fallas estructurales.

Del cálculo matemático de la soldadura se puede decir que el desarrollo de este fue bajo condiciones de máxima exigencia, ya que se supuso que la soldadura resistía por completo la tensión en la sábana ejercida por la persona, no obstante, aún con estas restricciones la soldadura no se fracturará.

CONCLUSIONES

El estudio de la presente memoria inicio con la búsqueda exhaustiva de componentes y mecanismos que permitan el cambio de posición en las personas en estado de dependencia severa, de la cual solo se encontró 2 opciones validas que cumplen con este objetivo, sin embargo, el precio de adquisición es sumamente elevado, por lo que se realizó un proceso iterativo en cuanto al diseño de la solución, con el fin de mejorar la estructura del diseño inicial y reducir el costo de fabricación.

A través de la encuesta realizada por la oficina de discapacidad a las personas en estado de dependencia severa de la comuna de Curicó, se logró identificar los parámetros de diseño y condiciones de funcionamiento a los que la estructura estará sometida, con esto se diseñó y seleccionó los componentes necesarios para el correcto funcionamiento, el cual se verificó mediante el desarrollo matemático basado en la resistencia estructural de los componentes y sus interacciones con los demás elementos.

La resistencia e integridad estructural del mecanismo se llevó a cabo mediante 2 métodos, el analítico que permitió desarrollar las ecuaciones de equilibrio de todos los componentes del diseño, y el método por simulación computacional que permitió verificar y representar el comportamiento de la estructura, con ambas formas de cálculo se concluye que todos los componentes poseen la resistencia estructural necesaria para soportar los esfuerzos normales y de corte que se generan en la estructura.

Para finalizar se puede decir que se logró el objetivo general de la presente memoria, ya que se obtuvo un diseño el cual se adapta según las necesidades de las personas en estado de dependencia severa, además que el proceso de fabricación es simple lo que permite reducir costos, lo que permitiría vender esta estructura a un valor de 150.000 CLP, incluyendo la mano de obra, lo que si se compara con el costo de la primera estructura que es de 100.000 CLP en solo materiales sin considerar la mano de obra para confeccionarla, este rediseño resulta ser más beneficioso no solo para quien venda este producto, sino que para todas aquellas personas a la que se les podrá otorgar una mejor calidad de vida y bienestar.

REFERENCIAS

- [1] C. Ibañez, M. España, V. Miranda, and M. Gillmore, “Dependencia de los Adultos Mayores en Chile,” *Minist. Salud*, pp. 1–54, 2005.
- [2] Ministerio de Salud, “Manual del cuidado de personas mayores dependientes y con pérdida de autonomía,” p. 194, 2009.
- [3] E. Saldaña, “Manual de Anatomía Humana,” p. 116, 2012.
- [4] P. Arce, G. Cerón, F. González, M. Guerrero, and S. Pinto, “Caracterización de la dependencia en las personas en situación de discapacidad a partir del II Estudio Nacional de la Discapacidad,” p. 21, 2017.
- [5] R. C. Hibbeler, *Ingeniería Mecánica - Estática*, Decimosegu. México, 2010.
- [6] M. Cervera Ruiz and El. Blanco Díaz, *Resistencia de Materiales*, vol. 19, no. 2. Barcelona, España, 2015.
- [7] D. R. Askeland, P. P. Fulay, and W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, Sexta edic. 2011.

ANEXOS

ANEXO 1: CATÁLOGO DE DISEÑO SEGUROS SEAGERS

Tabla 6.1: Especificaciones técnicas de seguros seagers. Fuente: Página web oficial resortes madrigal.

DIN 471

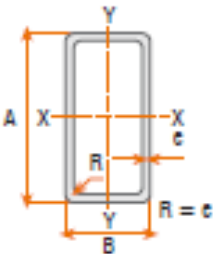
Eje	Ranura (G)					Anillo circular (F)										Wt.	Tc
B	G	Tol.	w	Tol.	n (mínimo)	d ~	t (pesos es)	Tol.	D	Tol.	C	C1	L (máximo l)	h ~	h (mínimo)	(kg/k)	(N)
3	2.8	+0.00	0.50		0.3	0.10	0.40		2.7		7.0	6.6	1.9	0.8	1.0	0.02	1170
4	3.8	-0.04	0.50		0.3	0.10	0.40		3.7	+0.04	8.6	8.2	2.2	0.9	1.0	0.03	1600
5	4.8	+0.00	0.70		0.3	0.10	0.60		4.7	-0.15	10.3	9.8	2.5	1.1	1.0	0.08	2900
6	5.7	-0.048	0.80		0.5	0.15	0.70	+0.00	5.6	-0.05	11.7	11.1	2.7	1.3	1.2	0.13	4100
7	6.7		0.90		0.5	0.15	0.80		6.6		13.5	12.9	3.1	1.4	1.2	0.18	5500
8	7.6	+0.00	0.90		0.6	0.20	0.80		7.4	+0.00	14.7	14.0	3.2	1.5	1.2	0.20	6200
9	8.6	-0.06	1.10		0.6	0.20	1.00		8.4	-0.18	16.0	15.2	3.3	1.7	1.2	0.32	8800
10	9.6		1.10		0.6	0.20	1.00		9.3		17.0	16.2	3.3	1.8	1.5	0.40	9700
11	10.5		1.10		0.8	0.25	1.00		10.2		18.0	17.1	3.3	1.8	1.5	0.41	10700
12	11.5		1.10		0.8	0.25	1.00		11.0		19.0	18.1	3.3	1.8	1.7	0.45	11700
13	12.4		1.10		0.9	0.30	1.00		11.9		20.2	19.2	3.4	2.0	1.7	0.52	12700
14	13.4	+0.00	1.10		0.9	0.30	1.00		12.9	+0.10	21.4	20.4	3.5	2.1	1.7	0.56	13600
15	14.3	-0.11	1.10		1.1	0.35	1.00		13.8	-0.36	22.6	21.5	3.6	2.2	1.7	0.62	14600
16	15.2		1.10		1.2	0.40	1.00		14.7		23.8	22.6	3.7	2.2	1.7	0.69	15600
17	16.2		1.10		1.2	0.40	1.00		15.7		25.0	23.8	3.8	2.3	1.7	0.77	16600
18	17.0		1.30		1.5	0.50	1.20		16.5		26.2	24.8	3.9	2.4	2.0	0.99	21000
19	18.0		1.30		1.5	0.50	1.20		17.5		27.2	25.8	3.9	2.5	2.0	1.10	22200
20	19.0		1.30		1.5	0.50	1.20		18.5		28.4	27.0	4.0	2.6	2.0	1.18	23400
21	20.0	+0.00	1.30	+0.14	1.5	0.50	1.20		19.5	+0.13	29.6	28.2	4.1	2.7	2.0	1.26	24500
22	21.0	-0.13	1.30	-0.00	1.5	0.50	1.20		20.5	-0.42	30.8	29.4	4.2	2.8	2.0	1.39	25700
23	22.0		1.30		1.5	0.50	1.20	+0.00	21.5	-0.06	32.0	30.6	4.3	2.9	2.0	1.54	26900
24	22.9		1.30		1.7	0.55	1.20		22.2		33.2	31.7	4.4	3.0	2.0	1.52	28000
25	23.9		1.30		1.7	0.55	1.20		23.2		34.2	32.7	4.4	3.0	2.0	1.70	29200
26	24.9		1.30		1.7	0.55	1.20		24.2		35.5	33.9	4.5	3.1	2.0	1.75	30400
27	25.6		1.30		2.1	0.70	1.20		24.9		36.7	34.8	4.6	3.1	2.0	1.89	31600
28	26.6		1.60		2.1	0.70	1.50		25.9		37.9	36.0	4.7	3.2	2.0	2.47	40900
29	27.6		1.60		2.1	0.70	1.50		26.9		39.1	37.2	4.8	3.4	2.0	2.75	42400
30	28.6	+0.00	1.60		2.1	0.70	1.50		27.9	+0.21	40.5	38.6	5.0	3.5	2.0	2.93	43800
32	30.3	-0.21	1.60		2.6	0.85	1.50		29.6	-0.42	43.0	40.7	5.2	3.6	2.5	3.02	46700
33	31.3		1.60		2.6	0.85	1.50		30.5		44.0	41.7	5.2	3.7	2.5	3.30	48200
34	32.3		1.60		2.6	0.85	1.50		31.5		45.4	43.1	5.4	3.8	2.5	3.72	49700
35	33.0		1.60		3.0	1.00	1.50		32.2		46.8	44.2	5.6	3.9	2.5	3.78	51100
36	34.0		1.85		3.0	1.00	1.75		33.2		47.8	45.2	5.6	4.0	2.5	4.55	51400
38	36.0		1.85		3.0	1.00	1.75		35.2		50.2	47.6	5.8	4.2	2.5	5.08	54800
40	37.5		1.85		3.8	1.25	1.75		36.5	+0.39	52.6	49.5	6.6	5.0	2.5	5.54	55600
										-0.90							

ANEXO 2: CATÁLOGO PERFIL RECTANGULAR TUBULAR

Tabla 6.2: Especificaciones técnicas de perfil rectangular tubular. Fuente: Catálogo Técnico Cintac.

Perfiles rectangulares ASTM A500

Especificaciones Generales	
Largo normal:	6 m. Otros largos previa consulta.
Recubrimiento:	Negro.
Extremos:	Lisos de máquina.
Calidades normales:	A270ES • A240ES • SAE 1010 SAE 1008
Otras dimensiones:	A pedido, previa consulta a CINTAC.



Dimensiones nominales			Peso teórico	Area A	Eje X-X			Eje Y-Y		
A	B	e			I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	kgf/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	10	1,0	0,42	0,53	0,25	0,25	0,69	0,08	0,17	0,39
	10	1,5	0,59	0,75	0,32	0,32	0,66	0,10	0,21	0,37
25	15	1,0	0,58	0,73	0,59	0,48	0,90	0,27	0,36	0,60
	15	1,5	0,83	1,05	0,80	0,64	0,87	0,35	0,47	0,58
	15	2,0	1,05	1,34	0,95	0,76	0,84	0,41	0,55	0,56
30	20	1,0	0,73	0,93	1,15	0,77	1,11	0,61	0,61	0,81
	20	1,5	1,06	1,35	1,58	1,05	1,08	0,84	0,84	0,79
	20	2,0	1,36	1,74	1,93	1,28	1,05	1,01	1,01	0,76
40	20	1,0	0,89	1,13	2,33	1,17	1,43	0,79	0,79	0,84
	20	1,5	1,30	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
	20	2,0	1,68	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
	30	1,5	1,53	1,95	4,37	2,19	1,50	2,80	1,87	1,20
	30	2,0	1,99	2,54	5,48	2,74	1,47	3,50	2,33	1,17
50	20	1,5	1,53	1,95	5,76	2,31	1,72	1,35	1,35	0,83
	20	2,0	1,99	2,54	7,22	2,89	1,69	1,66	1,66	0,81
	30	1,0	1,20	1,53	5,28	2,11	1,86	2,41	1,61	1,25
	30	1,5	1,77	2,25	7,53	3,01	1,83	3,41	2,27	1,23
	30	2,0	2,31	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
	30	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16

ANEXO 3: CATÁLOGO CAÑERÍA CON COSTURA ASTM A53

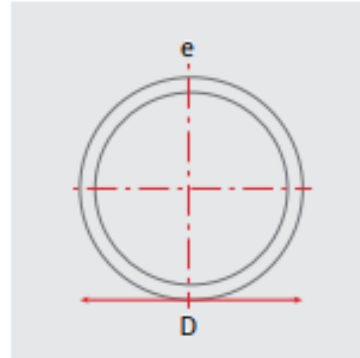
Tabla 6.3: Especificaciones técnicas de cañería con costura ASTM A53. Fuente: Página web oficial Acenor Chile.

Especificaciones Generales

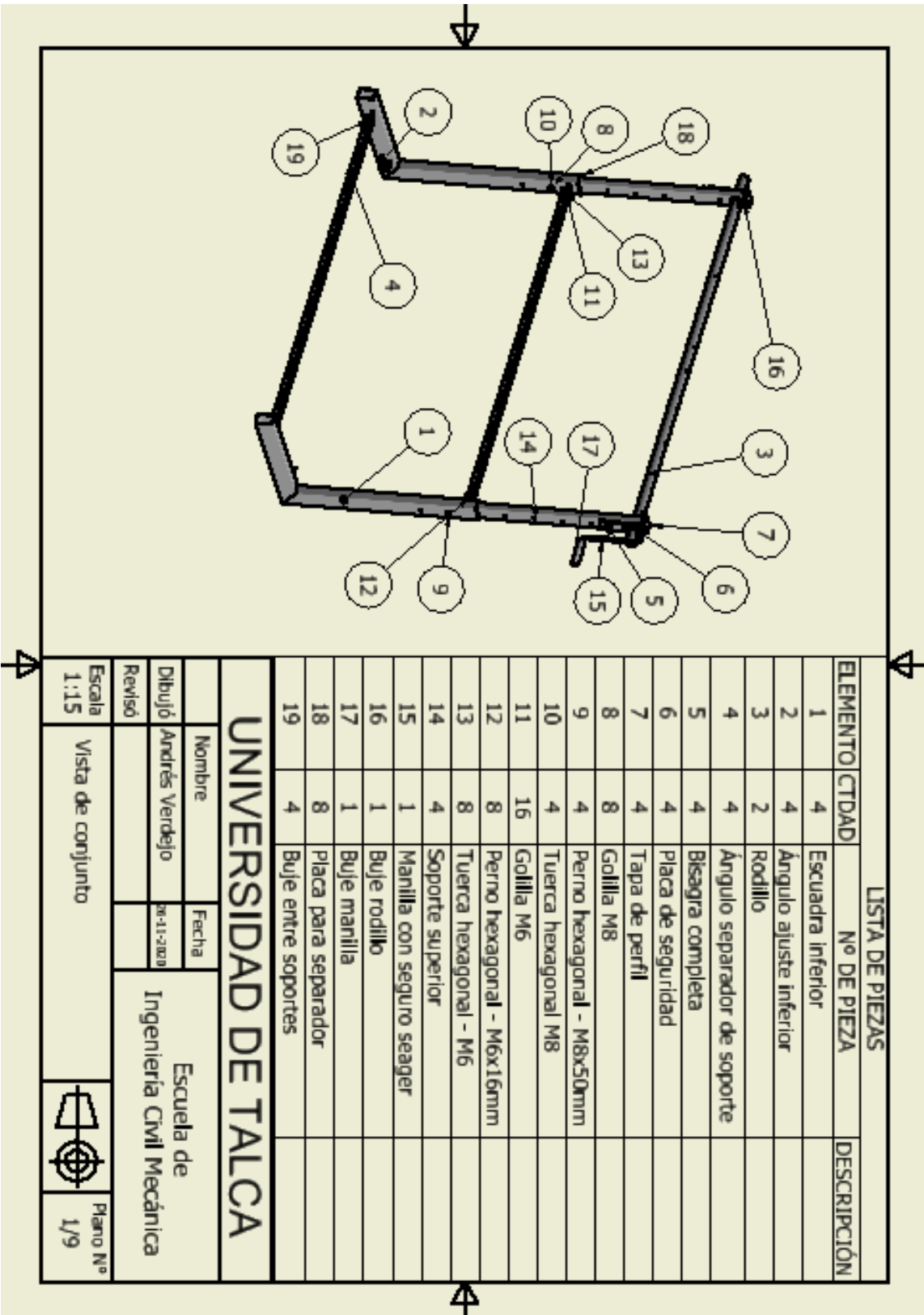
Calidad	ASTM A - 53
Terminación	Negro o galvanizado
Extremos	Planos/ Biselados/ Hilo BSP/ NPT
Largo normal	6 m
Diámetros	Desde 1/2" a 12"
Aplicaciones	Conducción de fluidos, elementos estructurales.

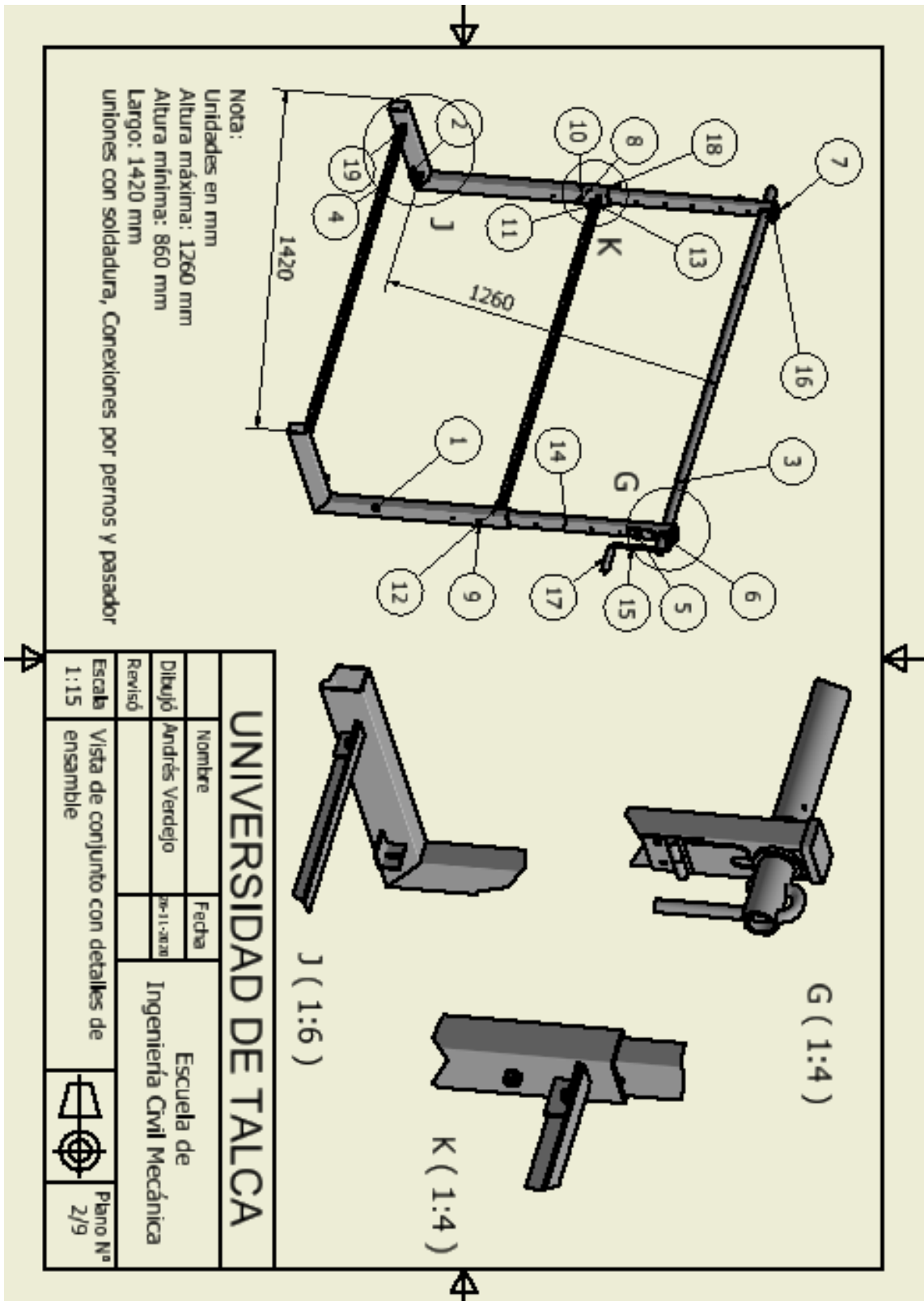
Cañería con Costura ASTM A53 y API 5L (grado B)

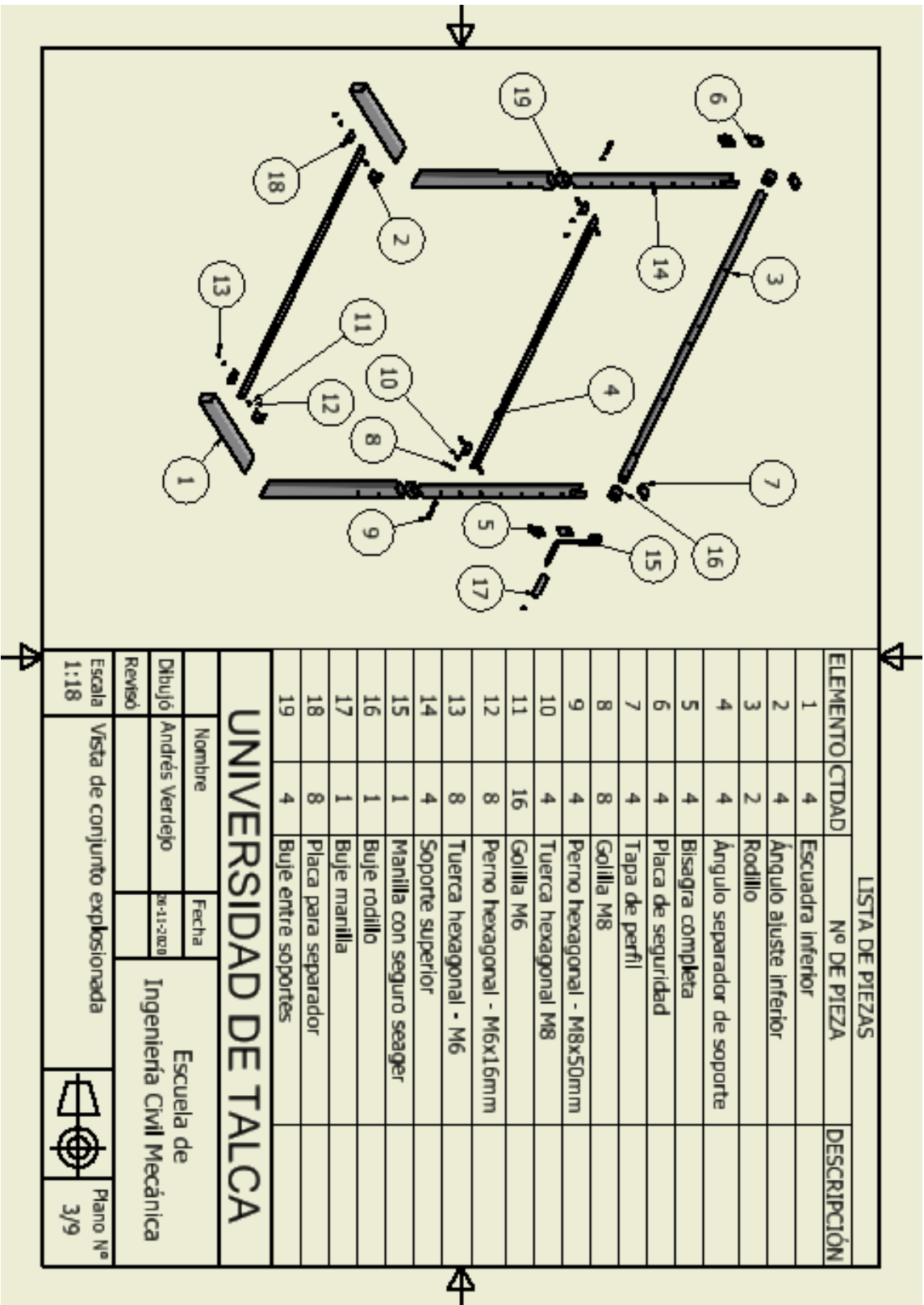
Diámetro Nominal Pulg.	Diámetro Exterior mm	Schedule	Espesor (mm)	Peso Kg/m
1/2"	21,30	40	2,77	1,27
3/4"	26,70	40	2,87	1,69
1"	33,40	40	3,38	2,50
1 1/4"	42,20	40	3,56	3,39
1 1/2"	48,30	40	3,68	4,05
2"	60,30	40	3,91	5,44
2 1/2"	73,00	40	5,16	8,63
3"	88,90	40	5,49	11,29
4"	114,30	40	6,02	16,07
5"	141,30	40	6,55	21,77
6"	168,30	N/A	5,00	20,14
		N/A	6,00	24,02
		40	7,11	28,26
8"	219,1	20	6,35	33,57
		40	8,18	42,65
10"	273,1	20	6,35	42,09
		40	9,27	60,5
12"	323,9	20	6,35	50,11
		STD	9,52	73,78



ANEXO 4: PLANOS DE FABRICACIÓN





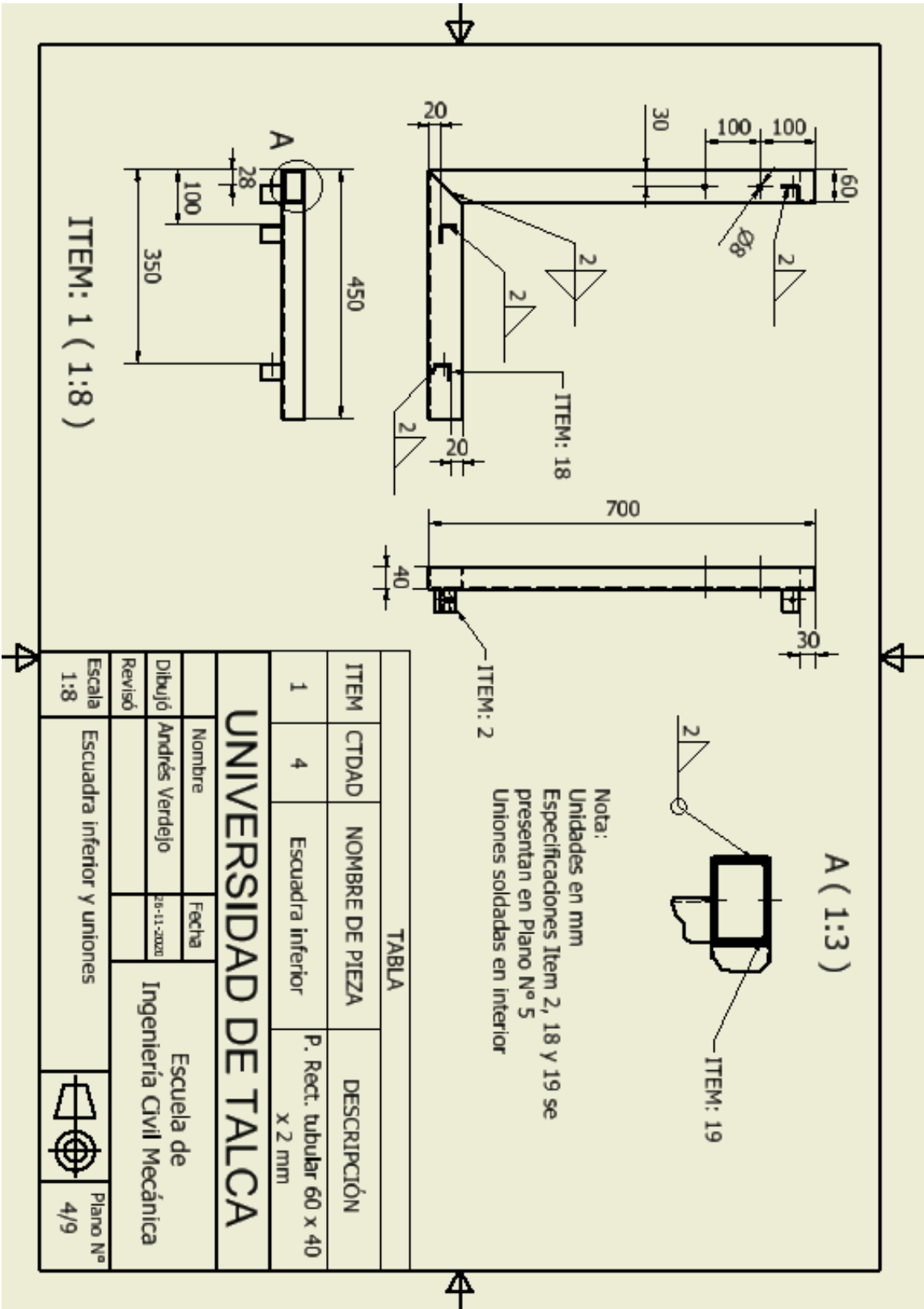


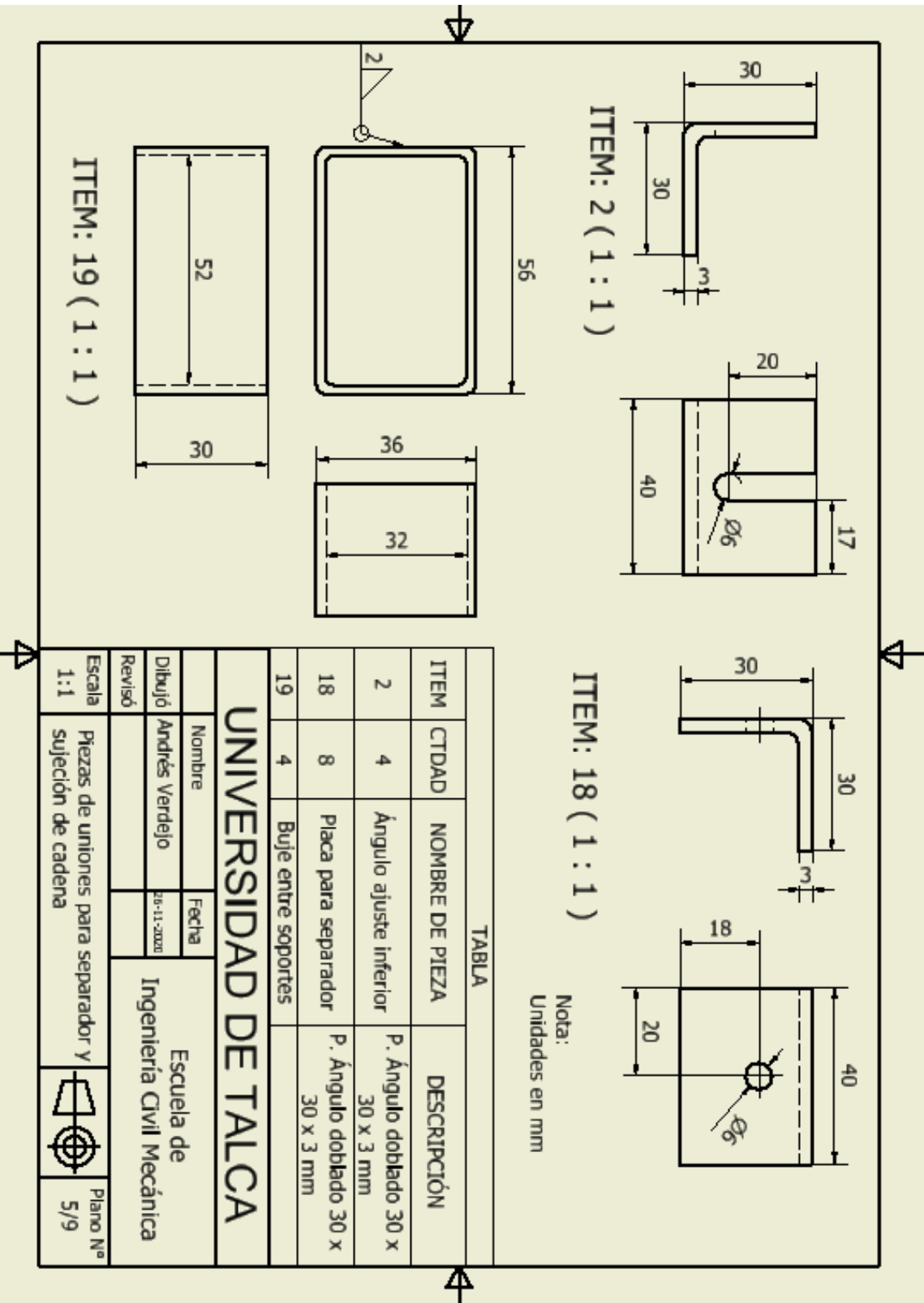
LISTA DE PIEZAS

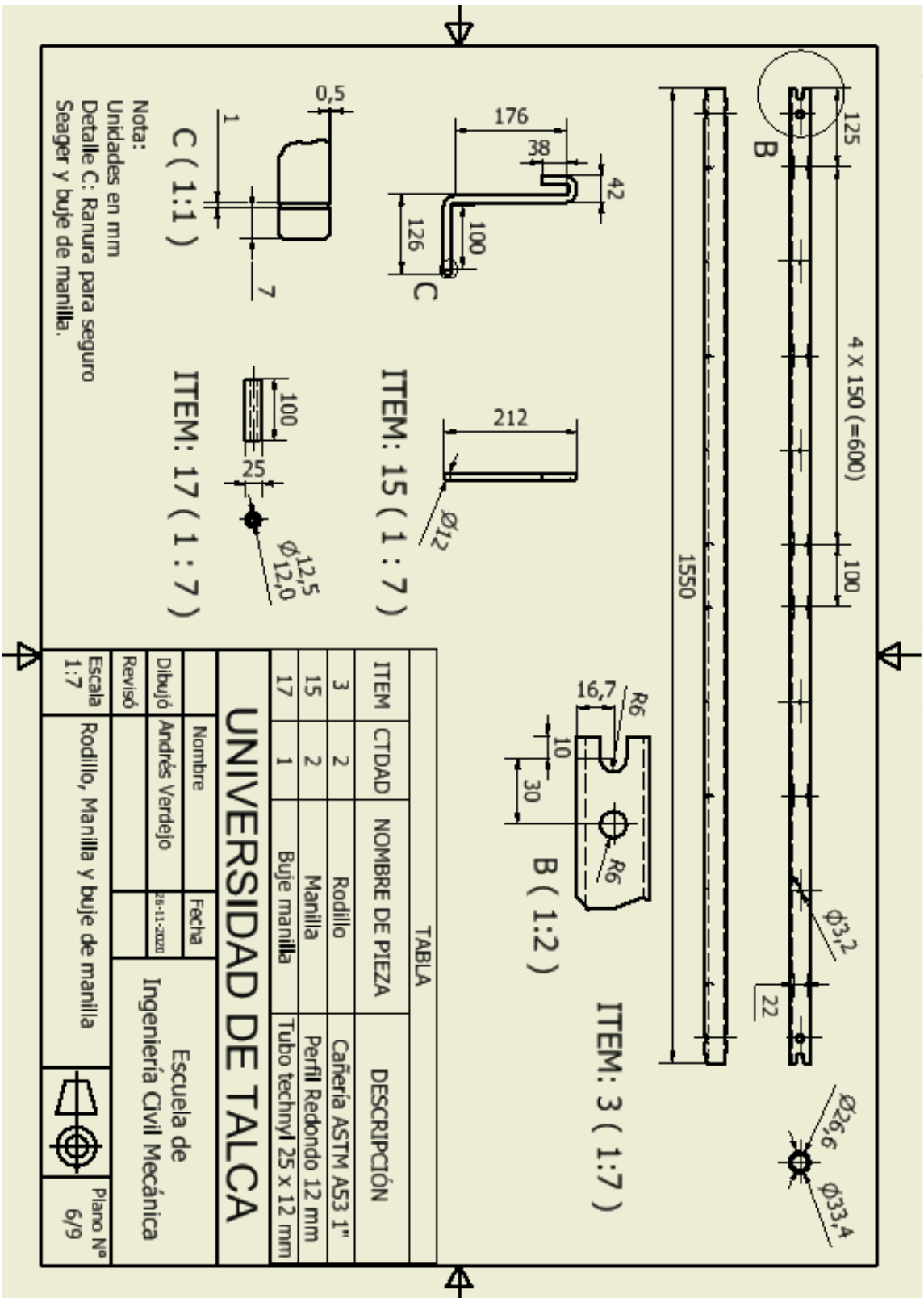
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	4	Escuadra inferior	
2	4	Ángulo ajuste inferior	
3	2	Rodillo	
4	4	Ángulo separador de soporte	
5	4	Bisagra completa	
6	4	Placa de seguridad	
7	4	Tapa de perfil	
8	8	Cojilla M8	
9	4	Perno hexagonal - M8x50mm	
10	4	Tuerca hexagonal M8	
11	16	Cojilla M6	
12	8	Perno hexagonal - M6x16mm	
13	8	Tuerca hexagonal - M6	
14	4	Soporte superior	
15	1	Manilla con seguro seager	
16	1	Buje rodillo	
17	1	Buje manilla	
18	8	Placa para separador	
19	4	Buje entre soportes	

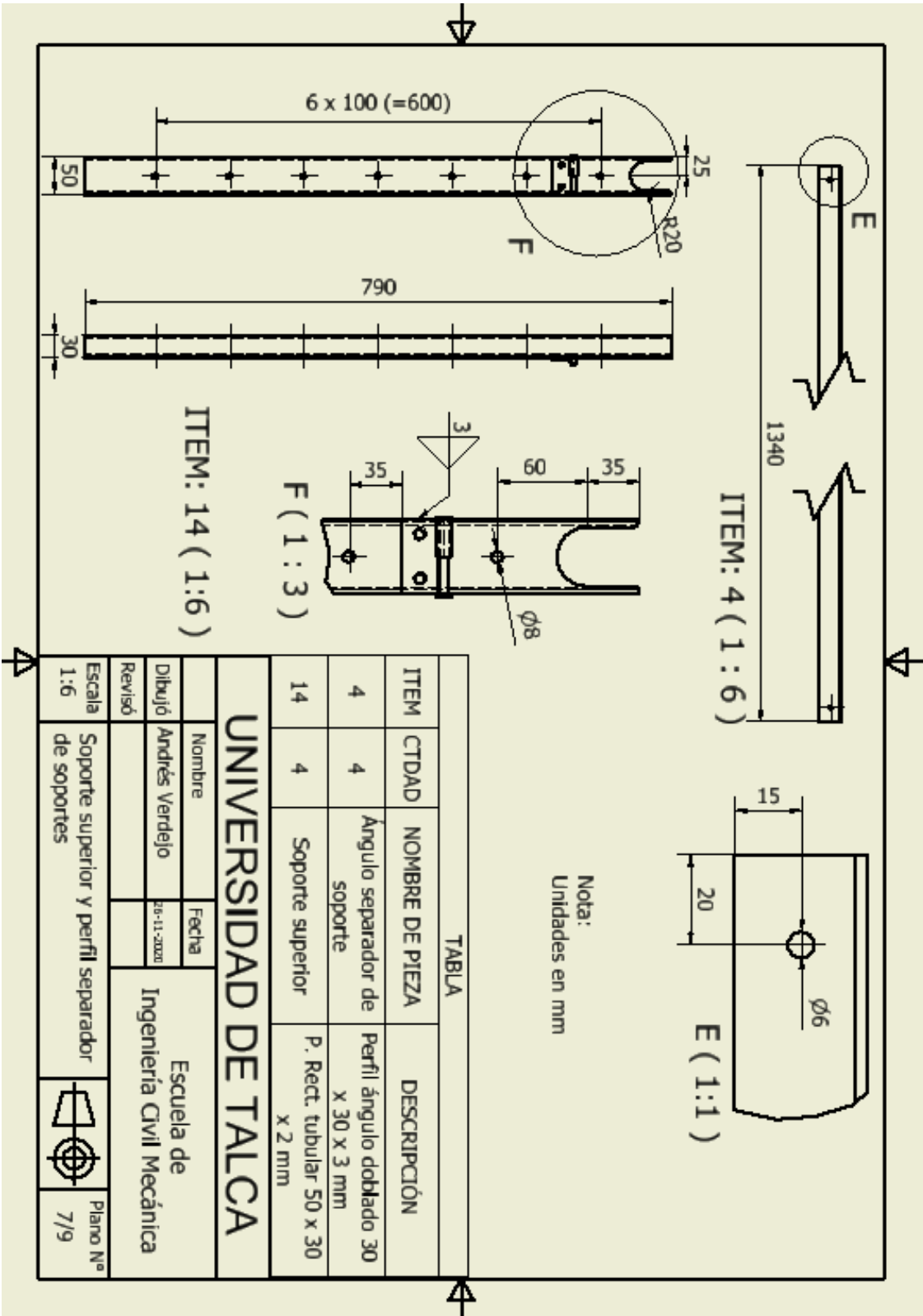
UNIVERSIDAD DE TALCA

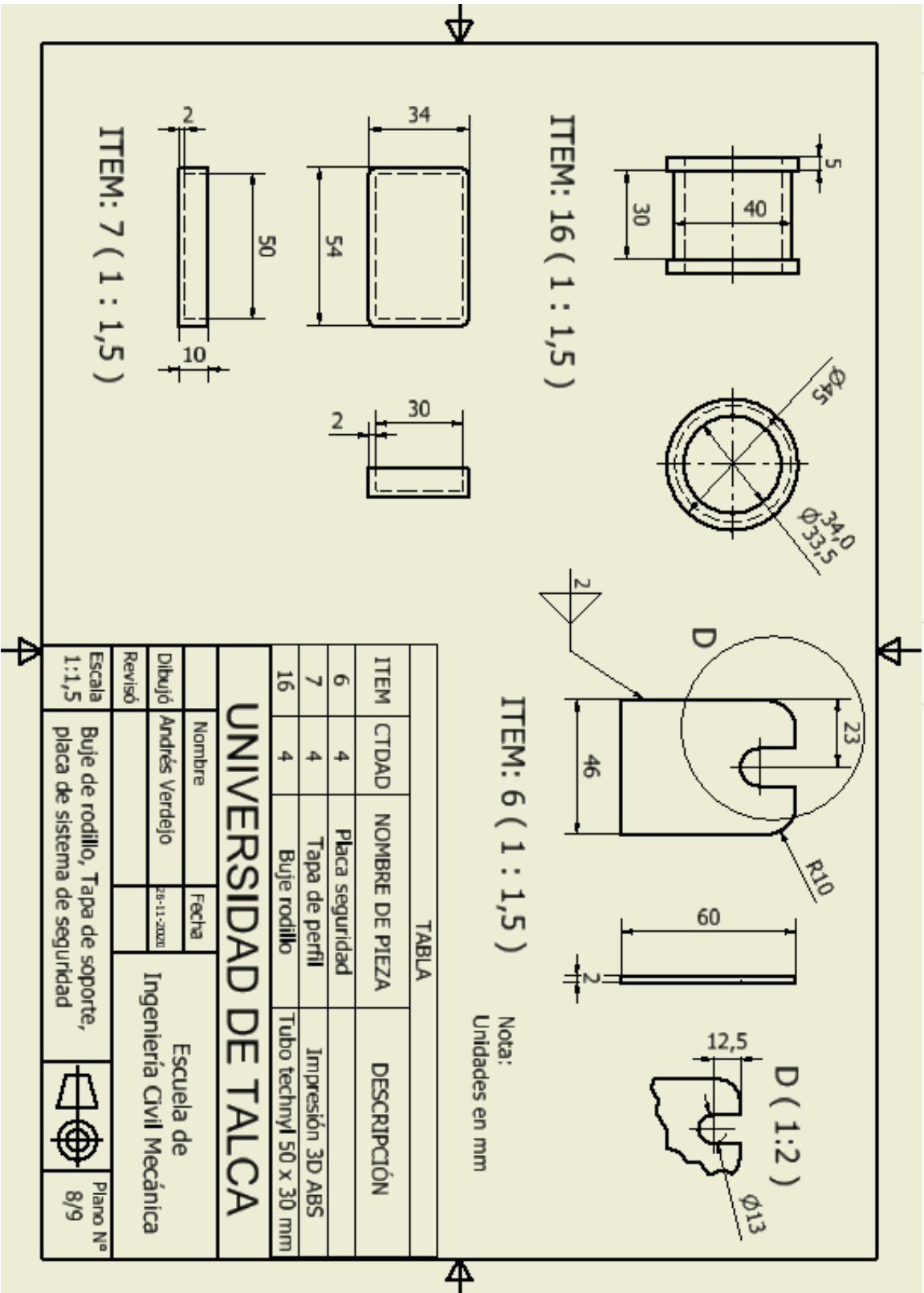
Nombre		Fecha		Escuela de Ingeniería Civil Mecánica	
Dibujó Andrés Verdejo		06-11-2020			
Revisó					
Escala 1:18			Vista de conjunto explosionada		Plano Nº 3/9











TABLA

ITEM	CTDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
6	4	Placa seguridad	
7	4	Tapa de perfil	Impresión 3D ABS
16	4	Buje rodillo	Tubo technyl 50 x 30 mm

UNIVERSIDAD DE TALCA

Nombre		Escuela de Ingeniería Civil Mecánica	
Dibujó	Andrés Verdejo	Fecha	26-11-2020
Revisó			
Escala	1:1,5	Buje de rodillo, Tapa de soporte, placa de sistema de seguridad	Plano N° 8/9

